**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil
**2011**

**Sónia Raquel de Lima e Carvalho Ascenso**

# Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários - Avaliação das características Superficiais

**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil
**2011**

**Sónia Raquel de Lima e Carvalho Ascenso**

# Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários - Avaliação das características Superficiais

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Dedico em particular este trabalho aos meus pais, pelo apoio e ajuda incondicional que sempre me deram ao longo das minhas caminhadas e
ao meu querido avô, que mesmo já não estando presente, jamais se esqueceu de mim.

**o júri**

presidente

Prof. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes.
professora auxiliar na Universidade de Aveiro – directora do curso de Engenharia Civil na Universidade de Aveiro

Prof. Doutora. Rosa Paula Conceição Luzia
professora adjunta - Escola Superior de Tecnologia - Instituto Politécnico de Castelo Branco

Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta
professor auxiliar na Universidade de Aveiro

**agradecimentos**

Embora um relatório seja mais um trabalho individual, com finalidade académica, há ajudas de natureza diversa que não devem nem podem ficar esquecidas. Por este motivo, gostaria de manifestar os meus sinceros agradecimentos, em particular:

Ao Eng.º. Francisco Miranda, director do Centro Operacional Centro Norte do distrito de Coimbra das Estradas de Portugal, pelos meios postos à disposição.

À Eng.ª. Teresa Gariso, Técnica de Laboratório do Centro Operacional Centro Norte das Estradas de Portugal pela sua imprescindível ajuda e disponibilidade sempre demonstrada no esclarecimento de questões e nos meios postos à disposição.

Ao Prof. Dr. Agostinho Benta pela orientação que me disponibilizou ao longo da elaboração deste relatório de estágio.

Aos meus pais pelo amor, paciência e incentivo incondicional ao longo do meu percurso académico e em todos os momentos da minha vida, sem eles não teria realizado os meus projectos de vida.

Ao Filipe, meu namorado e amigo, por todo o carinho, apoio e disponibilidade que sempre demonstrou em todos os momentos.

Aos meus amigos pela amizade e apoio demonstrados durante a elaboração deste trabalho.

**palavras-chave**

Pavimentos Rodoviários, Características Funcionais e Estruturais de pavimentos, Técnicas de Reabilitação das Características Superficiais, Sistema de Gestão de Pavimentos, Caracterização do Estado Superficial do Pavimento, Avaliação Global da Qualidade do Pavimento, Índice de Qualidade, Atrito, Textura.

**resumo**

Nos últimos anos tem-se assistido a uma maior valorização das características superficiais do pavimento. É essencial estabelecer um programa de acompanhamento da evolução dos pavimentos no sentido de apoiar a decisão de intervir em determinada altura, de modo a restituir a qualidade dos mesmos.
Neste trabalho são apresentadas diversas técnicas de reabilitação das características superficiais de um pavimento de modo a recuperar as características funcionais e iniciais do mesmo.
Como princípio geral, deve-se estudar o estado do pavimento a reabilitar e, em seguida escolher a técnica que melhor se adapte às condições do pavimento e à estratégia de conservação a adoptar, esta informação é tratada por ferramentas designadas por Sistemas de Gestão da Conservação.
Este trabalho focou-se essencialmente no método de caracterização do estado superficial do pavimento, aplicando-se a metodologia de avaliação da qualidade do pavimento.
Posteriormente à abordagem teórica foi apresentado um caso prático onde foi feito o levantamento da caracterização actual do estado superficial do pavimento de um troço de uma estrada nacional, com o principal objectivo de apresentar as soluções necessárias para a melhoria das suas características funcionais e consequentes características estruturais, prolongando desta forma o seu período de vida.

**keywords**

Road Pavement, Pavements structural and functional characteristics, Techniques for Rehabilitation of Superficial Characteristics, System of Management of Pavements, Characterization of the Surface Condition of the Pavement, Global Assessment of the Quality of the Pavement, Quality Index, Friction, Texture.

**abstract**

Over the last years, we've witnessed a higher rating of the surface features of the pavement surface type. It is essential that we develop a program to follow the evolution of road surfaces so that we know when they need proper intervention to establish their former quality.
This work presents several surface maintenance techniques aimed at recovering their former functional properties.
As a common principle, we should study the actual state of the road surface we want to maintain and then choose the technique that best suits the pavement conditions and the maintenance strategy. This information is dealt by specific tools referred to as Management Systems.
This work has essentially focused on the method of characterization of the pavement surfacing choices, applying the surface quality evaluation methodology.
After the theoretical approach, a practical case is shown, where the present state of the pavement system of a national road section is really shown. The main goal is to propose the solutions needed to improve its functional characteristics and, consequently, its structural features, so that its service life is extended.

# Índice

# Índice de Figuras

# Índice de Tabelas

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1.Enquadramento do tema

Nos últimos anos tem surgido no mundo inteiro, um grande interesse na utilização de tratamentos superficiais na conservação e reabilitação dos pavimentos existentes.

A partir da Segunda Guerra Mundial a rede rodoviária sofreu uma enorme evolução, quer em extensão, quer ao nível de volume de tráfego e das respectivas cargas. Em Portugal esta evolução verificou-se de forma mais notória com a introdução do Plano Rodoviário Nacional 85 (DL 380/85) e com a adesão à CEE em 1985. Com a implementação destes planos verificou-se um grande aumento de extensão rodoviária construída. Actualmente, verifica-se também um aumento da necessidade de conservação para repor a qualidade estrutural e funcional dos pavimentos.

As decisões de conservação/reabilitação apoiam-se em informação relativa ao estado da degradação, cadastro e previsão de evolução desse estado ao longo do tempo.

Portugal apresenta uma rede rodoviária constituída, na sua maioria, por pavimentos flexíveis que vêm evoluindo ao longo do tempo com a construção de novos itinerários, prevendo-se um incremento das actividades de conservação e reabilitação dos pavimentos existentes, a par de uma diminuição da fase de crescimento da rede rodoviária de nacional.

O decréscimo da qualidade dos pavimentos da rede deve-se, fundamentalmente, à evolução e ocorrência de degradações resultantes da acção conjunta de dois tipos de acções, tráfego e condições climatéricas, que contribuem significativamente para uma redução da qualidade dos materiais e em particular dos betuminosos. Consequentemente surge a necessidade de recorrer a operações de reabilitação/conservação, de forma prolongar as propriedades das características iniciais dos pavimentos, garantindo-lhes maior longevidade.

## 1.2. Objectivos

Uma grande extensão da rede rodoviária nacional apresenta um elevado estado de degradação que deve ser monitorizado e cuja reabilitação/conservação deve ser cuidadosamente analisada e planeada, face à crescente necessidade de melhorar o estado de degradação dos pavimentos.

Uma estratégia de reabilitação/conservação pode ser realizada recorrendo a um, ou a vários tipos de soluções possíveis. Essa escolha depende sempre do estado funcional e estrutural do pavimento a reabilitar/conservar, tendo em vista os níveis de qualidade que se pretendem atingir com a estratégia adoptada.

Este relatório tem por objectivo contribuir para um conhecimento mais aprofundado das diversas técnicas de reabilitação/conservação das características superficiais de pavimentos flexíveis tendo em conta a avaliação do seu estado superficial.

Neste sentido achou-se imprescindível elaborar um caso prático, dando continuidade aos temas teóricos abordados. No caso de estudo foi efectuado o levantamento visual das degradações de um trecho de uma estrada nacional, por forma a avaliar o seu estado superficial actual, cuja análise procurou encontrar as metodologias mais eficazes para a resolução das mesmas, com o objectivo de prolongar o período de vida do pavimento.

# 2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

## 2.1. Considerações Gerais

A principal função de um pavimento rodoviário é garantir uma superfície de rolamento livre e desempenada que permita uma circulação de veículos em condições de segurança e conforto.

A superfície do pavimento para cumprir essa função, deve possuir características, as quais se destacam a regularidade geométrica, a aderência e a capacidade de drenagem de águas superficiais (Antunes et al., 2005 ).

Hoje em dia os aspectos ambientais também estão a adquirir uma importância significativa, tais como a diminuição de ruído induzido pela própria circulação dos veículos e até mesmos os aspectos paisagísticos (Antunes et al., 2005 ).

## 2.2. Requisitos Principais e Constituição de Pavimentos Rodoviários

O estado do pavimento pode ser descrito por indicadores que agrupam dois conjuntos de características que consubstanciam dois tipos de requisitos dos pavimentos: a Qualidade Funcional e a Qualidade Estrutural.

A *Qualidade Funcional* de um pavimento está relacionada com as exigências dos utentes, nomeadamente quanto ao conforto e segurança de circulação, directamente relacionadas com algumas características superficiais do pavimento, a regularidade, a textura, atrito e características associadas ao ruído de rolamento.

A economia é também um dos factores primordiais para os utentes da via, pois está relacionada com o consumo de combustível, o desgaste dos veículos e o tempo de viagem.

A *Qualidade Estrutural* de um pavimento está relacionada com a capacidade que um pavimento tem para suportar cargas induzidas pelos veículos sem sofrer alterações, dentro de determinados valores limites, os quais colocariam em causa a qualidade funcional. Esta diz respeito a características como a integridade, a regularidade e o desempeno da superfície, traduzidas pela ausência de fendas, covas depressões e outras deformações permanentes (Antunes et al., 2005) .

Um pavimento rodoviário, relativamente à sua constituição, é considerado como um sistema multi-estratificado, constituído por camadas de diferentes espessuras e materiais. De acordo com a forma como se podem agrupar as camadas constituídas de um pavimento e os diferentes tipos de materiais, assim resultam também diferentes tipos de pavimentos, que apresentam diferentes tipos de comportamentos para as cargas a que estão sujeitos em combinação com as condições climáticas.

Os pavimentos rodoviários são usualmente classificados em três categorias, flexíveis, rígidos e semi-rígidos. Esta distinção é baseada na sua estrutura, visto que cada um destes pavimentos apresenta uma constituição diferente, com camadas diferenciadas, relativamente às características geométricas e mecânicas.

A Figura 1 apresenta um esquema de constituição de um pavimento flexível tipo:

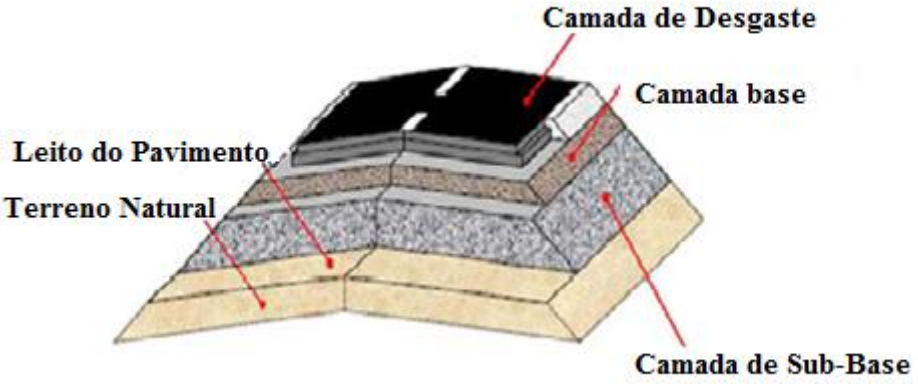



Figura 1. Pavimento Flexível Tipo (Fonte: PIARC, 2009)

O comportamento como um todo dos vários tipos de pavimentos, é em princípio idêntico, contudo a resposta de cada uma das camadas que o constituem é diferente, originando deformações diferentes para cada tipo de pavimento.

A Tabela 1 relaciona o tipo de pavimento com o seu grau de deformabilidade.

Tabela 1. Tipo de Pavimentos em função dos materiais e da deformabilidade (Fonte: Branco et al., 2008).

| **Tipo de Pavimento** | **Materiais (ligante)** | **Deformabilidade** |
|---|---|---|
| ***Flexível*** | Betuminosos e Granulares | Elevada |
| ***Rígido*** | Hidráulicos e Granulares | Muito Reduzida |
| ***Semi-Rígido*** | Betuminosos, Hidráulicos e Granulares | Reduzida |

Os ***pavimentos flexíveis*** são caracterizados por possuírem camadas de base e sub-base de materiais granulares, sobre as quais ainda assenta uma camada de tratamento superficial ou camadas de misturas betuminosas com espessura na ordem dos 15cm. O seu principal elemento estrutural é a *camada de base* ser constituída por materiais granulares.

Na Tabela 2 são referidas as principais características das camadas constituintes dos *pavimentos flexíveis* e os intervalos de espessuras, usualmente, definidos para as mesmas.

Tabela 2. Camadas constituintes de um Pavimento Flexível e respectivas características (Fonte: EP et al., 1995).

| Camadas | Características | Espessuras Tipo |
|---|---|---|
| **Camada de Desgaste** | Constituída por material betuminoso com agregados de alta resistência (com dimensões geralmente reduzidas – diâmetro médio de 3 a 4 cm), suporta, redistribui para as camadas inferiores as tensões induzidas pelos rodados dos veículos, tem características de impermeabilização, com superfície regular, desempenada e adequada circulação de veículos em condições de conforto, economia e segurança, deve apresentar uma rugosidade compatível com a mobilização de atrito. | 4 a 6 cm |
| **Camada de Regularização** | Constituída por mistura betuminosa à semelhança da primeira, no entanto com materiais mais pobres (quer no betume, quer nos agregados), suporta a camada de desgaste, redistribui e transfere para as camadas inferiores as tensões transmitidas ao nível da camada de desgaste, a superfície deve ser regular, desempenada para garantir a boa execução da camada de desgaste. | 5 a 12 cm |
| **Camada de Base** | Camada constituída por agregado britado de granulometria extensa, produzido artificialmente em pedreira e geralmente conhecido por tout-venant, é a camada mais importante deste tipo de pavimento – camada estrutural, suporta essencialmente, as solicitações induzidas pelo tráfego, assegurando a degradação das tensões compatível com a necessidade de evitar a mobilização excessiva das características resistentes dos terrenos de fundação. | 15 a 30 cm |
| **Camada de Sub-base** | Constituída por material granular do tipo tout-venant ou com recomposição em central, suporta, redistribui e transfere para a fundação, as tensões transmitidas ao nível da base, características drenantes – drenagem do pavimento, permeabilidade adequada para se opor à estagnação da água, evita que as águas ascensionais ou águas capilares atinjam as camadas nobres do pavimento. | 15 a 20 cm |

Os ***pavimentos semi-rígidos*** distinguem-se dos pavimentos flexíveis por possuírem uma maior rigidez das camadas, em particular da *camada base*, que é constituída por um material granular tratado com ligante hidráulico. Este tipo de pavimento é constituído por uma ou mais camadas de misturas betuminosas e a sub-base por um material granular. Estes tipos de pavimentos podem apresentar estruturas convencionais ou invertida, sendo o primeiro constituído por *base* com ligante hidráulico e *sub-base* granular e o segundo composto pela *base* granular e *sub-base* com ligante hidráulico.

Na Tabela 3 são referidas as principais características das camadas constituintes dos *pavimentos semi-rígidos* e os intervalos de espessuras, geralmente, definidos para as mesmas.

Tabela 3. Camadas constituintes de um pavimento semi-rígido e respectivas características (Fonte: EP et al., 1995).

| Camadas | Características | Espessuras Tipo |
|---|---|---|
| **Camada de Desgaste** | Constituída por material betuminoso, suporta, redistribui e transfere para as camadas inferiores, as tensões induzidas pelos rodados dos veículos, tem características de impermeabilização, com superfície regular, desempenada e adequada para a circulação de veículos em condições de conforto, economia e segurança, deve apresentar uma rugosidade compatível com a mobilização de atrito. | 4 a 6 cm |
| **Camada de Regularização** | Constituída por mistura betuminosa, suporte de camada de desgaste, suporta, redistribui e transfere para as camadas inferiores, as tensões transmitidas ao nível da camada de desgaste, a superfície deve ser regular, desempenada para garantir a boa execução da camada de desgaste. | 5 a 12 cm |
| **Camada Granular (para tipo de estrutura "inversa")** | Camada de material granular de granulometria extensa, não ligada, entre as camadas betuminosas e a de betão pobre, utilizada em estruturas "inversas" (e excluída em estruturas "directas") com o intuito de contrariar a propagação das fendas da base às camadas betuminosas, dimensão máxima de 37,5mm | 15 cm |
| **Camada base** | Constituída por material granular estabilizado com ligante hidráulico (geralmente betão pobre cilindrado), camada estrutural devido à sua elevada rigidez. | 20 a 30 cm |
| **Camada de Sub-base** | Constituída por material granular em material britado, com granulometria extensa, dimensão máxima de 50 mm | 15 cm |

Os ***pavimentos rígidos*** são constituídos por uma laje de betão que pode ser colocada directamente sobre a fundação ou sobre as outras camadas de suporte, a base e a sub-base (CEPSA, 2007).

Na Tabela 4 são referidas as principais características das camadas constituintes dos *pavimentos rígidos* e os intervalos de espessuras, geralmente, definidos para as mesmas.

Tabela 4. Camadas constituintes de um pavimento semi-rígido e respectivas características (Fonte: EP et al., 1995).

| Camadas | Características | Espessuras Tipo |
|---|---|---|
| **Camada de Betão de cimento** | Camada estrutural do pavimento com características de impermeabilização constituída por uma laje de betão de cimento compactado por vibração, apresenta superfície regular, desempenada adequada à circulação de veículos em condições de conforto, economia e segurança, suporta, redistribui e transfere para a camada inferior as tensões induzidas pelos rodados dos veículos, representa a camada de desgaste e a camada base. | 20 a 25 cm |
| **Camada de Sub-base** | Constituída por material granular (agregado de granulometria extensa estabilizado com cimento) ou betão pobre ou solo-cimento (material granular estabilizado com ligante hidráulico para os casos de tráfego intenso), suporta, redistribui e transfere para a fundação as tensãoes transmitidas ao nível da camada superior, camada regular que permita a execução da laje em boas condições e resistente à erosão, assegura a uniformização de assentamentos, características de drenagem | 15 a 20 cm |

Os valores para as espessuras tipo apresentados nas tabelas anteriores, são meramente indicativos, podendo o dimensionamento de um determinado pavimento (com uma determinada fundação, tráfego previsto e determinadas condições climatéricas) ter valores diferentes dos apresentados.

## 2.3. Principais Mecanismos de Degradação de Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos rodoviários logo após a sua construção começam a ser submetidos a acções, que, continuamente contribuem para uma redução gradual da sua qualidade inicial (Intevial, 2009).

Um *pavimento flexível* apresenta ao longo da sua vida uma evolução que se pode traduzir no princípio de uma vasta variedade de degradações, as quais contribuem para uma sucessiva redução da qualidade do pavimento. As principais causas dos pavimentos flexíveis estão relacionadas com factores como a intensidade do tráfego, acções climáticas, as deficiências dos materiais, deficiências do projecto ou da qualidade de execução.

As degradações referentes aos pavimentos flexíveis podem ser associadas em quatro grandes grupos: **deformações**, **fendilhamento**, **desagregação, polimento da camada de desgaste** e **movimentação de materiais**.

Os esforços que estão permanentemente instalados nas diferentes camadas de um pavimento, ou seja os esforços induzidos pela passagem dos veículos, vão provocando alterações nos materiais constituintes do mesmo, que determinam assim a evolução da deformação.

Estas famílias de degradação têm uma localização no pavimento, uma sequência e uma interacção mútua, como é demonstrado na Figura 2.

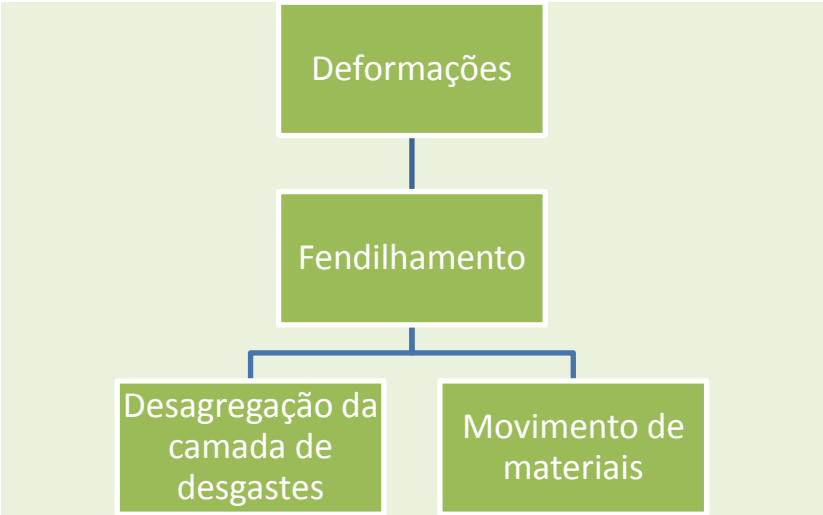



Figura 2. Sequência e interacção das degradações (Fonte: Branco et al., 2008)

De acordo com o *Catálogo de degradações elaborado pelas estradas de Portugal*, as *reparações observáveis na camada de desgaste* também são consideradas deformações, e por melhor que sejam executadas, criam descontinuidades e tornam-se locais susceptíveis ao surgimento de novas deformações.

As *deformações* podem ser divididas em abatimento, ondulação, deformações localizadas e rodeiras, e devem-se na sua maioria a factores como as condições de drenagem, capacidade de suporte da fundação e as camadas estruturais de reduzida compacidade.

A Tabela 5 mostra os tipos de deformações associadas a pavimentos flexíveis.

Tabela 5. Tipos de deformações associadas a pavimentos flexíveis (Fonte: E.P., 1997).

| **Tipos de Deformações** | | | |
|---|---|---|---|
| **Abatimento** | **Longitudinal** – pode localizar-se ao longo do pavimento junto à berma ou ao longo do eixo da faixa de rodagem. | **Berma** – pode resultar de uma redução da capacidade de suporte das camadas regulares e do solo de fundação, relacionada com a entrada de água através da berma ou da interface berma - pavimento. |  |
| | | **Eixo** – ocorre quando existe um fendilhamneto ao longo do eixo, resultando uma diminuição da capacidade de suporte por infiltração de água até às camadas inferiores granulares e ao solo de fundação, ou problemas de construção da camada superficial de desgaste. |  |
| | **Transversal** – tem uma localização dependente da ocorrência de situações patológicas ao nível das camadas inferiores, em particular no solo de fundação e camadas granulares. | |  |
| **Deformações Localizadas** – alterações de nível de pavimento, formando depressões ou alteamentos, podendo surgir isoladamente em diferentes pontos do pavimento, podem resultar da falta de capacidade do solo de fundação, contaminação localizada das camadas granulares ou capacidade deficiente em zonas pontuais do pavimento, em particular das camadas granulares. | | |  |
| **Ondulação –** deformação transversal que se repete com uma determinada frequência ao longo do pavimento, pode ocorrer nas camadas de desgaste constituídas por revestimento superficial, devido a deficiências na distribuição do ligante, pode verificar-se em camadas de betão betuminoso onde ocorre o arrastamento da mistura por excessiva deformação plástica, devido à acção de tráfego, podendo também ter como causa a deformação da fundação. | | |  |
| **Rodeiras –** deformações transversais localizadas ao longo da zona de passagem dos rodados dos veículos, podem ter como causas a compactação insuficiente das camadas em geral, a capacidade insuficiente das camadas granulares e da fundação, ou a presença de misturas betuminosas com reduzida resistência à deformação plástica. | | |  |

O *fendilhamento* ocorre apenas nas camadas constituídas por misturas betuminosas, uma vez que são as únicas que possuem resistência à tracção.

O *fendilhamento* é o tipo de degradação mais frequente nos pavimentos flexíveis, como exemplifica a Tabela 6.

Os principais tipos de fendilhamento são os descritos de seguida:

- ***Fendilhamento por fadiga****:* fendilhamento com origem na base das camadas betuminosas devida à repetida aplicação de esforços de tracção induzidos pela passagem dos rodados dos veículos pesados;
- ***Reflexão de fendas****:* fendilhamento que resulta da propagação de fendas existentes em camadas subjacentes às camadas betuminosas;
- ***Fendilhamento com origem à superfície****:* fendilhamento que se tem vindo a observar com particular incidência em estruturas de pavimentos destinados a tráfegos relativamente elevados, que podem induzir a estados de tensão na interface entre o pneu e o pavimento (Antunes et al., 2005) .

A passagem repetida dos veículos conduz a dois tipos de extensões nos solos de fundação e nas misturas betuminosas:

- *Extensões reversíveis*: Traduzem-se em esforços de tracção na base das camadas betuminosas responsáveis pelo fenómeno de fadiga, e consequentemente, pela degradação por fendilhamento;
- *Extensões permanentes*: Evoluem no tempo com a passagem do tráfego e contribuem para o aumento da profundidade das rodeiras e outras degradações (E.P., 1997).

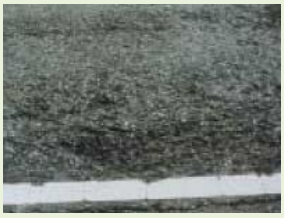
Tabela 6. Tipos de fendilhamentos associados a pavimentos flexíveis (Fonte: E.P., 1997).

| Tipos de Fendilhamentos | | |
|---|---|---|
| **Fendas** | **Fadiga** - fendas irregulares localizadas nas zonas de passagem dos rodados dos veículos geralmente iniciadas na direcção longitudinal, progredindo na direcção transversal, podem ser isoladas e ramificadas, as causas possíveis são a fadiga das camadas betuminosas, a falta de capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, camada de superfície com qualidade deficiente dos materiais. |  |
| | **Longitudinais** – fendas paralelas ao eixo da estrada, localizadas geralmente ao longo da passagem dos veículos, as causas possíveis são a deficiência da junta longitudinal de construção, a drenagem deficiente. |  |
| | **Transversais** – fendas perpendiculares ao eixo, isoladas ou com espaçamento variável, abrangendo parte ou toda a largura da faixa de rodagem, podem resultar de uma deficiente junta transversal de construção, da retracção térmica da camada de desgaste ou mesmo da capacidade de suporte da fundação. |  |
| **Pele de crocodilo** – fendas que formam entre si uma malha de dimensão variável, localizada inicialmente na zona de passagem dos rodados abrangendo progressivamente toda a largura da via, resultante da evolução das fendas ramificadas, as causas podem ser as mesmas mencionadas anteriormente para a deformação por fadiga. | |  |

A *desagregação da camada de desgaste* traduz-se na perda de qualidade superficial. Esta degradação, resulta fundamentalmente da deficiência de ligação entre os diferentes componentes de uma mistura betuminosa, da falta de estabilidade dessa ligação, de deficiências da camada de desgaste, da segregação dos inertes em central durante o transporte ou na sua colocação, de betume deficiente, da presença de água, temperaturas desfavoráveis na fase de execução que afectam a compacidade da camada (E.P., 1997).

A Tabela 7 mostra alguns exemplos de desagregações e polimento da camada de desgaste de pavimentos flexíveis.

Tabela 7. Tipos de desagregação e polimento da camada de desgaste associados a pavimentos flexíveis (Fonte: E.P., 1997).

| **Tipos de desagregação e polimento da camada de desgaste** | |
|---|---|
| **Desagregação superficial** – extracção de uma das fracções do agregado. |  |
| **Pelada** – desprendimento em forma de placa, da camada de desgaste, relativamente à camada inferior, as causas mais influentes podem ser a espessura reduzida da camada de desgaste, uma deficiente ligação entre esta e a camada betuminosa seguinte ou a falta de estabilidade da camada de desgaste. |  |
| **Ninhos (covas)** – cavidades de forma arredondada localizadas na camada de desgaste, podendo progredir para as camadas inferiores, as causas possíveis são a evolução de outras deformações, em particular do fendilhamento, a deficiente qualidade dos materiais da camada de desgaste ou deficiente capacidade de suporte. |  |
| **Polimento dos agregados** – desgaste por abrasão, geralmente da fracção grossa do agregado, conferindo à superfície do pavimento um aspecto polido e brilhante. |  |

O *movimento dos materiais* pode desenvolver-se apenas nas camadas betuminosas, ou abranger todas as camadas e o solo de fundação, quando se trata da subida de finos (CEPSA, 2007).

Na Tabela 8 mostram-se alguns exemplos de tipos de movimentos de materiais associados a pavimentos flexíveis.

Tabela 8. Tipos de movimento de materiais associados a pavimentos flexíveis (Fonte: E.P., 1997).

| **Tipos de movimentos de materiais** | |
|---|---|
| **Exsudação** – migração à superfície do ligante betuminoso na camada de desgaste, em particular na zona de passagem dos rodados, conferindo-lhe um aspecto negro e brilhante, pode resultar de excesso de ligante e redução da macrotextura, de contaminação por rega de colagem excessiva, por ligante de reduzida viscosidade submetido a tráfego intenso e temperaturas elevadas. |  |
| **Subida de finos** – manchas de cor esbranquiçada, devidas à presença de finos, provenientes das camadas granulares e do solo de fundação, inicialmente junto às fendas, evoluindo para toda a superfície da camada de desgaste, as causas possíveis são a drenagem deficiente do pavimento, que promove a ascensão da água através do solo de fundação, das camadas granulares e das camadas betuminosas fendilhadas, arrastando os finos para a superfície do pavimento. |  |

# 3. TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO E DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

## 3.1. Considerações Gerais

Como referido anteriormente, os pavimentos rodoviários sob a acção do tráfego e das condições climáticas vão-se degradando ao longo do tempo.

A reabilitação de um pavimento tem como objectivo melhorar um serviço aos utentes, aumentando as condições de segurança e conforto, sem perder de vista os factores económicos, durante o seu período de vida (Azevedo, 2001).

É de salientar que, uma vez construído o pavimento é essencial estabelecer um programa de monitorização que permita identificar as necessidades de intervenção, garantindo ou repondo os níveis de qualidade aceitáveis. Assim a conservação de pavimentos é fundamental para preservar um património valioso e manter um nível de serviço que ofereça ao utente as melhores condições de circulação.

### 3.1.1. Os Diferentes Tipos e Técnicas de Conservação

*"Do ponto de vista literal das duas palavras, Conservação significa manter no estado actual, enquanto que Reabilitação corresponde a recuperar o estado inicial."* (Branco et al., 2008).

Considerando a evolução dos pavimentos e as intervenções que apenas são feitas com um certo intervalo de tempo para melhorar a qualidade inicial dos mesmos, conclui-se que não haveria lugar para manter o estado actual, mas sim recuperar o estado inicial, por isso se falar quase sempre em reabilitação (Branco et al., 2008).

Uma ausência, ou uma conservação tardia, conduz a custos de diversas naturezas, nomeadamente custos socioeconómicos e ambientais.

A conservação ou reabilitação das *características funcionais* tem como objectivo repor as características da superfície, quer quanto à textura, quer quanto à regularidade (Branco et al., 2008).

A conservação ou reabilitação das *características estruturais* tem como objectivo dotar a estrutura do pavimento de capacidade resistente. Esta reabilitação terá em conta o estado actual do pavimento, e o seu previsível estado futuro. É de salientar que quando uma intervenção estrutural é realizada são corrigidas também as deficiências funcionais (Branco et al., 2008).

## 3.2. Técnicas de Reabilitação das Características Superficiais

### 3.2.1. Considerações Gerais

As técnicas de reabilitação superficial actuam apenas ao nível da camada de desgaste melhorando indirectamente as características estruturais do pavimento, mas não se aplicam para a correcção das deformações existentes na estrutura do pavimento (Branco et al., 2008).

Recorre-se a este tipo de reabilitação com mais frequência nos casos em que é necessário melhorar as características anti-derrapantes do pavimento, onde seja visível a exsudação do betume, em superfícies polidas, em locais específicos como curvas, onde a visibilidade é reduzida devido à projecção de água ou reflexão de luz, entre outras (Antunes et al., 2005)

De seguida descrevem-se várias técnicas que se destacam no melhoramento das características da camada superficial.

### 3.2.2. Revestimentos Betuminosos Superficiais

Os revestimentos betuminosos superficiais são tratamentos obtidos, por aplicação separada e sequencial de ligantes betuminosos e agregado mineral de granulometria previamente especificada, constituindo assim uma camada de desgaste sobre o pavimento existente.

É uma técnica que permite rejuvenescer as características superficiais de um pavimento envelhecido e desgastado, assegurando uma elevada rugosidade e uma boa impermeabilização, permitindo assim um prolongamento da vida útil do pavimento a um custo reduzido comparativamente com as misturas betuminosas a quente (Intevial 2009).

*"Esta técnica é a que oferece, hoje em dia, a melhor relação benefício/custo quando se quer reabilitar as características de impermeabilização e de rugosidade da camada de desgaste. Pode dizer-se que a função de um revestimento é tornar homogénea a superfície, e ao mesmo tempo, reabilitar certas características funcionais do pavimento, ao oferecer melhores características anti-derrapantes, reduzir as projecções de água, melhorando indirectamente a capacidade de suporte." (Branco et al., 2008).*

O ligante tem como finalidade impermeabilizar o suporte existente e fixar o agregado que será espalhado posteriormente.

A aplicação do agregado mineral tem como principais objectivos, proteger o ligante, evitando o contacto pneu/ligante e por outro lado dotar o pavimento de rugosidade, dotando-o de características anti-derrapantes e melhorando a capacidade de drenagem superficial.

No intervalo de tempo, que separa a aplicação do ligante com a aplicação do agregado mineral, a viscosidade do ligante aumenta (com o arrefecimento do betume ou com a rotura da emulsão), proporcionando a colagem do agregado que lhe é sobreposto.

A compactação que é feita imediatamente a seguir ao espalhamento do agregado favorece a estabilização ligante/agregado por cravação (Intevial 2009).

É de salientar, que se trata de uma técnica que deve ser aplicada apenas quando o pavimento apresenta uma boa capacidade estrutural e poucas deformações.

O revestimento superficial não é muito aconselhável em zonas urbanas, pois como apresenta uma superfície rugosa, origina um aumento de ruído dos pneus dos veículos em contacto com o pavimento, no entanto este factor pode ser minimizado com a escolha de agregados mais finos.

No que diz respeito ao tráfego, os revestimentos superficiais são potencialmente indicados para tráfegos baixos e médios, mas devido às novas características dos ligantes modificados, estes podem ser utilizados para tráfegos elevados (Picado-Santos et al., 2002).

Nos revestimentos com dupla aplicação de agregado, as granulometrias descontínuas conduzem a melhores resultados, uma vez que proporcionam uma maior rugosidade e um melhor encaixe dos agregados. No entanto em locais onde a diminuição do ruído é importante, poder-se-á recorrer a granulometrias contínuas (Intevial 2009).

A combinação de sucessivas aplicações de agregados e de ligante permitem formar diversos tipos de estruturas, sendo as mais comuns mencionadas de seguida.

#### 3.2.2.1. Revestimento Superficial Simples (LA)

Camada do revestimento do pavimento constituída pela aplicação de ligante betuminoso coberto por uma camada de agregado granular com dimensões pequenas, como exemplifica a Figura 6.

Este tipo de revestimento deve ser aplicado quando o pavimento existente não apresenta grandes irregularidades e/ou deformações.

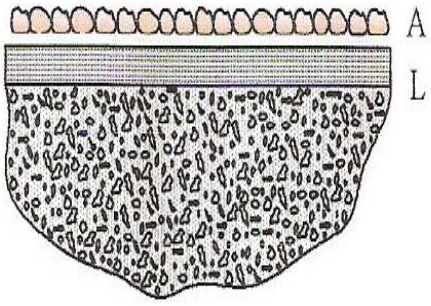



Figura 3. Revestimento Simples LA (Adoptado: Branco et al., 2008)

#### 3.2.2.2. Revestimento Superficial tipo “Sandwich” (aLA)

Consiste numa operação de espalhamento de agregado, seguida de uma aplicação de ligante betuminoso, complementando com uma operação de espalhamento de uma camada final de agregado, exemplificado na Figura 7.

Estes revestimentos não são dos mais escolhidos para a reabilitação dos pavimentos.

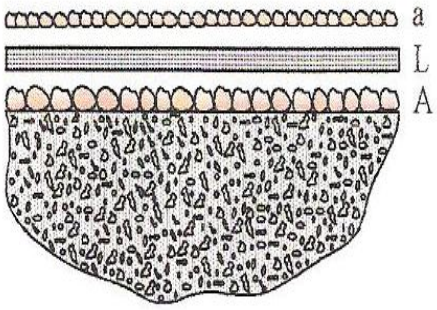



Figura 4. Revestimento tipo “sandwich” (Adoptado: Branco et al., 2008)

#### 3.2.2.3. Revestimento Superficial Duplo (LALa)

Camada de revestimento do pavimento constituída por duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso cobertas, cada uma por uma camada de agregado granular, exemplificado na Figura 8.

Trata-se de uma técnica de revestimento adequada para se executar em pavimentos que apresentem tráfegos bastante elevados e rápidos.

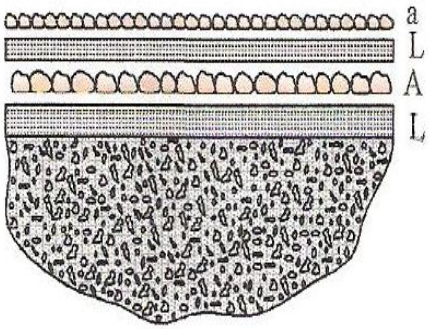



Figura 5. Revestimento Duplo (Adaptado: Branco et al., 2008 )

Os revestimentos em multi-camadas são mais duráveis e eficazes, no entanto ostentam maiores custos.

Destacam-se algumas vantagens na aplicação de tratamentos superficiais tais como:

- Simplicidade na aplicação e transporte;
- Possibilidade de trabalhar com temperatura ambiente baixa;
- Grande poder do ligante penetrar e envolver os agregados;
- Na aplicação não existe o risco o perigo de um sobreaquecimento do ligante que posteriormente resulte no seu resulte no seu envelhecimento precoce;
- O seu manuseamento e aplicação consomem uma quantidade inferior em relação aos métodos tradicionais (Intevial 2009).

A maior parcela constituinte dos revestimentos superficiais é a dos *agregados*, estes devem ser de boa qualidade e deverão apresentar uma grande resistência mecânica, deverão possuir dimensões homogéneas, com a forma mais cúbica possível, para aumentarem a rugosidade ao pavimento.

A escolha dos mesmos depende de vários factores, tais como:

- O tipo de estrutura do pavimento;
- O tráfego;
- A rugosidade;
- A diminuição do ruído;
- A melhoria da aderência e a drenagem superficial (Branco et al., 2008).

Inicialmente é efectuada uma limpeza ao pavimento existente, de forma a eliminar o maior número possível de partículas de pó, que podem por em causa a adesividade entre o pavimento e a futura camada de revestimento.

A aplicação do ligante e dos agregados é o próximo passo. O ligante terá de ser aplicado de uma só vez, de acordo com a dosagem especificada.

O material betuminoso não deverá ser aplicado em superfícies molhadas. Após a aplicação do ligante betuminoso, terá de ser espalhado o agregado e, em casos de aplicação excessiva, o mesmo deverá ser removido antes da compactação (Intevial 2009).

A tarefa seguinte consiste na compactação por forma a permitir uma conexão uniforme entre os agregados e o ligante e posteriormente o varrimento.
No caso de tratamentos duplos e triplos, a segunda e terceira camadas serão executadas de modo idêntico à primeira (Intevial 2009).

### 3.2.3. Microaglomerado Betuminoso a Frio

*"O microaglomerado a frio é constituído, por uma mistura betuminosa a frio com emulsão betuminosa, em geral modificada realizada "in situ" com equipamento apropriado e posteriormente espalhado sobre o pavimento existente, em estado fluido e uma camada bastante delgada."* (Branco et al., 2008).

Embora sejam normalmente utilizados como um revestimento superficial que tem características de desgaste (denso, rugoso e impermeável) fazem parte da família das misturas betuminosas caracterizada pelo facto da colocação em obra ser realizada com uma consistência líquido-pastosa que se obtém adicionando aos componentes habituais uma percentagem relativamente elevada de água (Intevial, 2009).

Os trabalhos de mistura e espalhamento do microaglomerado são realizados mediante equipamento adequado. A execução deste tipo de camada é bastante rápida devido à sua espessura reduzida. No entanto existe ainda um outro factor para a rapidez da sua aplicação, esse traduz-se na exclusão de compactação (Intevial, 2009).

Este tipo de revestimento é bastante eficaz no que se refere ao melhoramento das características superficiais, como a *rugosidade* e a *impermeabilização*, a custo reduzido, com poupança de energia visto ser uma técnica a frio.
Um microaglomerado betuminoso a frio, é uma mistura similar ao Slurry Seal, na sua formulação e funcionamento, embora na sua composição intervenham normalmente agregados com dimensões maiores (Dmáx 6 a 12mm) (Intevial 2009).

A aplicação deste tipo de revestimento em zonas urbanas é muito vantajosa, uma vez que apresenta espessuras reduzidas, permitindo assim, respeitar a cota das soleiras existentes e diminuir o ruído propagado pelo tráfego.
É usual utilizar o microaglomerado em selagem de fendas e em reparações pontuais, sempre que nesses locais se observem desagregações ou percentagens de atrito e texturas pequenas, existentes no pavimento a ser tratado (Intevial 2009).

Estes revestimentos podem ser aplicados em camadas simples ou duplas, quando se opta pela última pretende-se com isso, aumentar a capacidade de suporte, a macrotextura e a impermeabilização (Intevial 2009).

O sucesso da sua colocação depende dos procedimentos efectuados, dos materiais e dos equipamentos utilizados. Os materiais utilizados deverão estar bem compartimentados. Actualmente existe equipamento adequado que recebe e distribui continuamente os agregados, aumentando a eficácia e o rendimento (Intevial, 2009).

### 3.2.4. Lama Asfáltica (Slurry Seal)

A lama asfáltica, mais conhecido como "Slurry Seal", é um tratamento superficial betuminoso constituído de elementos minerais (agregados) de dimensões reduzidas, de elevada superfície específica, necessitando de relativo teor de ligante asfáltico, para o envolvimento de todas as partículas minerais, resultando um composto de alta resistência ao desgaste por abrasão, de baixa permeabilidade e anti-derrapante, obtido através de uma associação de agregado pequeno (< 2mm), filler, emulsão asfáltica e água, aplicado com equipamento móvel específico em consistência fluida e homogénea (Clérigo, 2006).

Este tipo de tratamento superficial é utilizado como uma acção preventiva e correctiva em pavimentos rodoviários, não pode ser entendido como um reforço estrutural do pavimento, o mesmo protege e prolonga a vida útil do pavimento, reduzindo a penetração de água e a consequente oxidação do ligante asfáltico.

A Lama asfáltica apresenta ainda um grande número de vantagens sobre outros procedimentos para a conservação e manutenção das características superficiais dos revestimentos asfálticos:

- Rápida aplicação;
- Não solta o agregado de cobertura;
- Facilidade para corrigir pequenas irregularidades;
- Em muitos casos, com custos relativamente baixos (Clérigo, 2006).

O seu espalhamento é realizado a frio e o seu fabrico é feito num camião betoneira ou num camião provido de equipamentos próprios para essa finalidade. Estes camiões permitem um fabrico contínuo da mistura e do seu espalhamento. São equipamentos providos de silos para os agregados, misturador contínuo, tanques para armazenamento da emulsão e da água e um sistema de doseadores (Intevial, 2009).

As fotografias seguintes representadas na Figura 6 mostram o equipamento tipo, para a aplicação de "Slurry Seal".

Figura 6. Equipamento tipo para aplicação de "Slurry"

A sua aplicação é realizada para as seguintes finalidades: impermeabilizar revestimentos antigos com desgaste superficial, selar fissuras e melhorar a estética de pavimentos antigos corrigindo pequenas degradações do pavimento e evitar a penetração de água.

Esta mistura betuminosa é semelhante ao microaglomerado betuminoso a frio, estando a diferença entre as duas misturas na menor dimensão dos agregados utilizados na lama asfáltica. A granulometria utilizada 0/4, corresponde a uma grande percentagem de agregados com dimensões inferiores a 2mm. Isto implica que a mistura obtida se assemelhe a um mástique betuminoso (Intevial, 2009).

A sua grande vantagem reside na facilidade de espalhamento da mistura e no grande rendimento obtido. Em contrapartida, trata-se de uma técnica que apresenta uma baixa e micro rugosidade, diminuindo a aderência, principalmente quando o pavimento se apresenta molhado (Branco et al., 2008).

*"Não obstante, esta técnica é utilizada em Portugal em operações de reabilitação para protelar intervenções de fundo, sendo utilizada com mais frequência no tratamento prévio de pavimentos fendilhados e, em regra, antecede a realização de uma interface "anti-fendilhamento"* (Branco et al., 2008).

### 3.2.5. Microbetão Betuminoso Rugoso

O microbetão betuminoso rugoso é aplicado em espessuras reduzidas, sendo a sua aplicação ideal em áreas urbanas.

A mistura de agregados é realizada a partir de fracções 0/2 e 0/6, resultando uma granulometria 0/10. Em geral utilizam-se ligantes modificados com polímeros, nomeadamente borracha reciclada de pneus (Pereira et al., 1999).

A aplicação da camada passa em primeiro pela limpeza do suporte, aplicando-se em seguida a rega de colagem, que deve sofrer rotura antes da colocação da camada de microbetão betuminoso rugoso. A temperatura varia entre os 160º e os 180ºC, no entanto se o betume sofrer sobreaquecimento, ou seja se no fabrico a temperatura ultrapassar os 180ºC, pode originar o envelhecimento precoce devido à oxidação do betume e a degradação do polímero utilizado (Pereira et al., 1999).

Normalmente este tipo de técnica utiliza-se recorrendo a uma camada de regularização subjacente ou a um suporte que apresente pouca irregularidade, com boas capacidades de suporte e que apresente pouco fendilhamento, para camadas de desgaste com pouco tráfego, em que se pretenda uma superfície muito "lisa", ou para camadas intermédias pouco espessas (até 2cm) para retardamento de propagação da fissuração. Poderá também ser utilizado em pisos desportivos e ciclovias.

*"A desvantagem desta técnica deve-se ao facto de não conseguir oferecer razoáveis características de impermeabilização, que são, em parte, compensadas com uma sobredosagem de rega de colagem."* (Branco et al., 2008).

Em alguns países europeus, como a França, utilizam muito esta técnica para a conservação de pavimentos com elevado tráfego, o seu interesse baseia-se na economia e nas características de conforto e segurança (Branco et al., 2008).

### 3.2.6. Argamassa Betuminosa

A argamassa betuminosa, tal como as técnicas referidas anteriormente, conduz a um melhoramento mínimo das características da camada de desgaste do pavimento a reabilitar.

*"Nas condições de fendilhamento generalizado, e perante a necessidade de retardar uma reabilitação estrutural, poderá ser uma alternativa a curto prazo, dado que apresenta uma boa capacidade de se adaptar a uma deformabilidade acentuada."* (Branco et al., 2008).

Trata-se de uma técnica que recorre ao betume puro ou modificado, logo pertence à família das misturas betuminosas a quente.

Quando existe fendilhamento e haja necessidade de adiar uma reabilitação estrutural, esta pode ser uma boa solução para curto prazo, pois adapta-se bem a uma deformabilidade acentuada (Branco et al., 2008).

*"Quanto à argamassa betuminosa com betume modificado, trata-se de uma mistura concebida essencialmente para executar interfaces retardadopras do processo de propagação de fendas, constituindo uma das técnicas actualmente mais utilizadas no nosso país com essa finalidade."* (Branco et al., 2008).

Recorre-se a esta técnica quando o tráfego apresenta valores baixos e pouco severos.

### 3.2.7. Selagem de Fissuras em Pavimentos

Trata-se de um processo globalmente, que prima pela simplicidade de execução e eficiência, sendo solução essencial à conservação de pavimentos.

O seu grande sucesso deve-se, além da eficácia, à alta durabilidade e ao custo relativamente baixo, podendo o seu uso preventivo em período adequado muitas vezes vir a evitar intervenções pesadas e de altíssimo custo, como fresagens, recomposições prematuras e reciclagem de bases.

A selagem de fendas de pequena gravidade, as quais não conduzem a uma necessidade de uma reabilitação estrutural do pavimento, é feita a partir da colocação de materiais betuminosos a frio, tais como microaglomerados e slurrys, geotêxteis impregnados com betumes e argamassas betuminosas a quente com betumes modificados. A escolha do material depende da gravidade observada e do nível de serviço da estrada (Azevedo, 2001).

O objectivo da selagem é de tratar as fissuras, impedindo a exposição do pavimento à entrada de água sem restringir a movimentação da estrutura, como é demonstrado nas imagens da Figura 7.

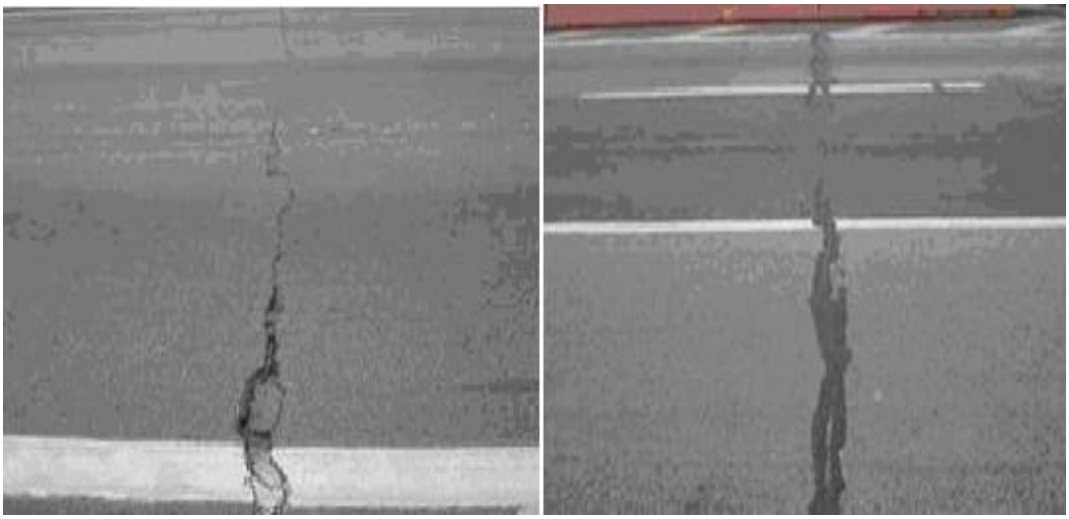


Figura 7. Selagem de Fissuras (Fonte: Técnhe, 2006)

# 4. GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS

Os pavimentos rodoviários são estruturas que apresentam uma evolução degradativa do estado funcional e estrutural para o qual foram projectados ao longo da sua vida útil. Actualmente em Portugal verifica-se um aumento da necessidade de realização de acções de conservação, de forma a repor a qualidade estrutural e funcional do pavimento.

A estas acções de conservação estão associados custos, quer para a administração da rede rodoviária, quer para os utentes. A análise destes custos, ao longo do ciclo de vida dos pavimentos, tem por objectivo avaliar as consequências de diferentes estratégias de conservação, resultantes das decisões de Gestão da Conservação dos Pavimentos (Freitas et al., 2011).

A complexidade dos problemas a tratar em todos os domínios, conduz à necessidade de se realizar uma análise global nos seus diversos aspectos, ao longo das últimas décadas desenvolveu-se a noção de "sistema de gestão" no campo das actividades rodoviárias, dando lugar a significativas ferramentas de apoio à gestão da conservação dos pavimentos (Branco et al., 2008).

Consequentemente, os sistemas de gestão, visam essencialmente distribuir os recursos disponíveis, em geral limitados, de modo a assegurar o melhor serviço prestado (segurança, economia e conforto) ao longo de um determinado período de análise (Branco et al., 2008).

Um sistema de gestão deve ser considerado, acima de tudo, como um meio de apoio à tomada de decisões de gestão, é de salientar que a elaboração de um sistema de gestão compreende uma análise profunda e um bom conhecimento do ambiente envolvente (Branco et al., 2008).

Em função dos objectivos fixados pelos responsáveis da gestão de uma rede de estradas e tendo em conta as suas diferentes componentes, podem referir-se diferentes tipos de sistemas de gestão.

"*O Comité Técnico de Gestão de Estradas da AIPCR (Associação Mundial da Estrada), distingue quatro tipos de sistemas, compreendendo diferentes actividades, que se descrevem de seguida:*

- ***Sistemas de Planificação da Rede Rodoviária***
  - ✓ *Estabelecimento de normas e objectivos;*
  - ✓ *Orçamento Global e distribuição por regiões e actividades (construção, conservação, exploração);*
  - ✓ *Dados Globais e estatísticos sobre as características da rede (tráfego, utilização, estado);*
  - ✓ *Avaliação de tendências de evolução.*
- ***Sistema Gestão de Pavimentos***
  - ✓ *Programação dos trabalhos de conservação e reabilitação dos pavimentos da rede;*
  - ✓ *Preparação e elaboração dos projectos de conservação e de reforço para cada trecho da rede. Em algumas administrações rodoviárias esta fase não está sob a responsabilidade de quem aplica o sistema de gestão.*
- ***Sistema de Gestão de Estruturas***
  - ✓ *Preparação dos programas anuais e plurianuais para a conservação e reabilitação de muros de suporte, pontes e túneis.*
- ***Sistemas de Gestão da Conservação***
  - ✓ *Elaboração e acompanhamento dos programas de conservação corrente. Em algumas administrações rodoviárias este sistema está integrado no Sistema de Gestão de Pavimentos*" (Branco et al., 2008).

## 4.1. Sistema de Gestão de Pavimentos

O Sistema de Gestão de Pavimentos (SGPAV) foi desenvolvido no âmbito de uma parceria com a Universidade de Coimbra (UC) e o Instituto Superior Técnico (IST).

O processo iniciou-se em 2003 com a definição e o levantamento da informação espacial, tendo o IST desenvolvido e implementado uma base de dados capaz de armazenar dados directamente relacionados com o pavimento e o seu estado de qualidade. Este é representado por um índice global, o Índice da Qualidade, que consubstanciou o módulo da Avaliação da Qualidade, concebido pela UC. Posteriormente, foi desenvolvido pela UC o módulo de Avaliação de Estratégias, tendo sido integrado no SGPAV (EP, 2007).

Inicialmente aborda-se a questão do tipo de dados a observar para constituir a base de dados, os quais estão directamente relacionados com o sistema de "Avaliação da Qualidade" dos pavimentos. Para este sistema de gestão é proposta a avaliação da qualidade através de um índice de qualidade (EP, 2007).

Com a informação produzida através da "Avaliação da Qualidade" é possível definir a "Estratégia de Aplicação", de modo a apoiar o desenvolvimento do plano de conservação (EP, 2007).

O grupo fundamental de dados para constituir uma base de dados de apoio à gestão de pavimentos rodoviários deverá incluir os seguintes domínios:

- História dos Pavimentos;
- Tráfego;
- Qualidade dos Pavimentos (EP, 2007).

Quanto à **história dos pavimentos**, este domínio deverá compreender a caracterização do património construído, ou seja, a geometria da estrada, a constituição da estrutura dos pavimentos, identificando as diferentes fases da sua evolução, desde a construção até às diferentes intervenções de reabilitação e ainda a informação relativa à observação da qualidade do pavimento, ao longo do respectivo ciclo de vida, incluindo a caracterização final nas fases de recepção provisória e recepção definitiva (EP, 2007).

Relativamente ao **tráfego** a sua caracterização deverá ser o mais fiável e completa possível, deverá incluir no mínimo o tráfego médio diário anual (TMDA) e o tráfego médio diário anual de pesados (TMDAp), bem como as suas respectivas evoluções (EP, 2007).

No respeitante à **qualidade dos pavimentos**, em geral esta poderá ser avaliada quanto à *componente estrutural*, relacionada com a capacidade da estrutura do pavimento para suportar as cargas do tráfego ao longo do respectivo período de vida, e quanto à *componente funcional* que está relacionada com os objectivos fundamentais de um pavimento tem para oferecer ao utente segurança e conforto (EP, 2007).

A *Qualidade Estrutural* pode ser avaliada através dos parâmetros "Estado Superficial", traduzindo o estado de degradação da superfície do pavimento, e através da capacidade de carga, relacionada com a deformabilidade do pavimento medida em determinadas condições, designada por "Deflexão" (EP, 2007).

A *Qualidade Funcional*, face aos objectivos de segurança e conforto, poderá ser devidamente avaliada através dos parâmetros de aderência, avaliada através do coeficiente de atrito, e irregularidade, longitudinal e transversal. Entretanto o estado de degradação da superfície do pavimento também interfere com a qualidade funcional do pavimento.

Ao nível de uma rede rodoviária estabilizada, com uma adequada qualidade dos pavimentos face ao tráfego existente e previsível, e em particular, com um sistema de gestão onde o estado inicial dos pavimentos é devidamente conhecido, considera-se como parâmetros de estado mínimos para a caracterização da respectiva qualidade, os seguintes (EP, 2007):

- Estado superficial;
- Irregularidade (longitudinal e transversal).

Tendo em conta que a irregularidade longitudinal e transversal, embora dependentes do comportamento de toda a estrutura do pavimento, são características da superfície do pavimento, no conceito do parâmetro do estado superficial, poder-se-á também incluir, além das degradações observadas na superfície do pavimento, a medição da profundidade de rodeiras (EP, 2007).

A *aderência* por vezes não é considerada ao nível do sistema de gestão, como parâmetro da tomada de decisão, no entanto trata-se de um parâmetro que, pela sua forte relação com a segurança de circulação, por si só dá lugar a indicações de intervenção nos pavimentos (EP, 2007).

### 4.1.1. Objectivos e Benefícios de um Sistema de Gestão de Pavimentos

*"A implementação de um sistema de gestão de pavimentos pressupõe um grande número de objectivos e de vantagens, de ordem técnica, administrativa e económica"* (Branco et al., 2008).

"*Do ponto de vista **económico**, um sistema de gestão de pavimentos pressupõe:*

- *Administrar os recursos necessários, determinando o nível de financiamento mais adequado;*
- *Planificar a beneficiação da rede em função dos recursos disponíveis;*
- *Determinar o efeito do adiamento dos trabalhos de conservação sobre os custos de administração e os custos dos utentes da estrada;*
- *Determinar os custos dos utentes, resultantes da qualidade do pavimento;*
- *Assegurar a rentabilidade dos recursos disponíveis, utilizando um sistema de prioridades.*

*Do ponto de vista **técnico**, um sistema de gestão de pavimentos pressupõe:*

- *Constituir uma base de dados completa e eficaz;*
- *Avaliar os resultados de experiências realizadas, de modo a melhorar as técnicas de construção e conservação;*
- *Adoptar as técnicas de conservação mais eficientes em função dos cenários possíveis;*
- *Definir os problemas dos pavimentos e propor acções para os eliminar ou prevenir;*
- *Definir os critérios de decisão mais significativos, de acordo com o estado do pavimento.*

*Do ponto de vista **administrativo**, um sistema de gestão de pavimentos permitirá:*

- *Definir de um modo geral o estado da rede de estradas;*
- *Planificar e programar as actividades de conservação dos pavimentos;*
- *Estabelecer o método de observação mais eficaz;*
- *Determinar as consequências dos diferentes níveis de financiamento sobre o estado do paviment"* (Branco et al., 2008).

Resumidamente para que um sistema de gestão de pavimentos funcione na prática e se aplique adequadamente às necessidades de ajuda de decisão, visto ser essencialmente um sistema de informação, os *objectivos principais* de um sistema focam-se essencialmente:

- Registar o **histórico** das intervenções nos pavimentos;
- **Inspeccionar** o estado de **degradação** dos pavimentos;
- **Diagnosticar** o **estado de conservação** da rede rodoviária nacional;
- Despoletar **acções correctivas** no âmbito da **conservação corrente**;
- Calibrar o **modelo de previsão** de comportamentos dos pavimentos;
- Simular cenários e **estratégias plurianuais** de intervenções;
- Projectar acções de **conservação periódica**;
- Manter a informação cadastral **acessível e actualizada** (Trindade et al., 2009).

Ao nível de rede os sistemas de gestão têm por finalidade definir a política de conservação, considerando três factores fundamentais, o *estado da rede*, os *padrões de qualidade* definidos para a rede e as *restrições financeiras* existentes (Branco et al., 2008).

A Figura 8 apresenta os elementos de um sistema de gestão ao nível da rede e a respectiva interacção.

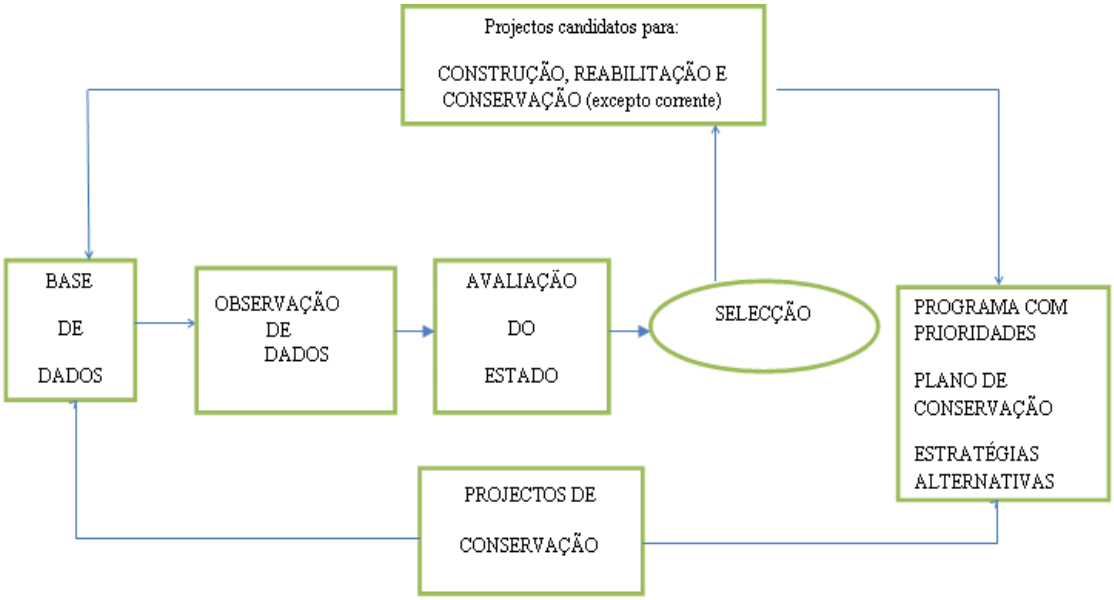



Figura 8. Elementos de um sistema de gestão ao nível de rede (Adaptado: Branco et al., 2008).

A análise a este nível compreende os seguintes aspectos:

- **Avaliação do estado dos pavimentos** ao nível da rede;
- **Identificação dos trechos da rede a serem beneficiados**, determinando a *respectiva prioridade*, considerando factores como o tráfego, custos dos utentes, e outros factores de decisão;
- **Determinação do orçamento necessário** ao nível da rede, a curto e médio prazo;
- **Previsão futura do estado da rede**, em função do nível de investimento considerado e da política de conservação adoptado (Branco et al., 2008).

Num sistema de gestão de pavimentos, consideram-se os seguintes parâmetros, representados na Figura 9.

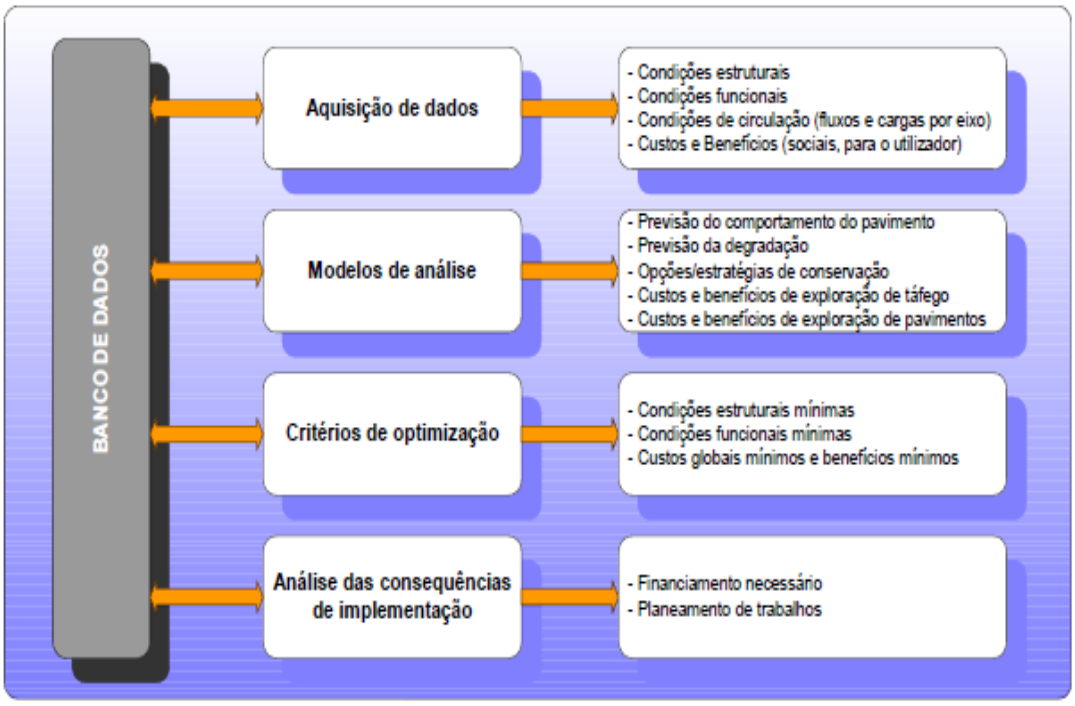



Figura 9. Parâmetros de um Sistema de Gestão de Pavimentos (Adaptado: OCDE et al., 1984).

## 4.2. Avaliação do Estado Superficial de Pavimentos Rodoviários

A segurança que um pavimento poderá oferecer, dependerá não só das características de traçado da estrada, mas também das suas características superficiais, tais como a regularidade, a resistência à derrapagem, conferida pela rugosidade do pavimento, e condições de drenagem de águas superficiais (Azevedo, 2001).

Actualmente existe a preocupação de executar estradas, que ofereçam todas as condições referidas anteriormente aos seus utentes e que resistam às constantes solicitações do tráfego, durante longos anos.

O estado superficial é geralmente, a nível visual, o primeiro indicador de degradação dos pavimentos e é aquele que é imprescindível para avaliar a qualidade funcional dos pavimentos, visando definir, como referido anteriormente, se o nível de serviço prestado é adequado às exigências dos utentes, principalmente se a circulação se efectua em condições de segurança e conforto (Azevedo, 2001).

O processo de evolução das degradações de um pavimento baseia-se, como esquematizado anteriormente, no "princípio da cadeia de consequências", segundo o qual uma degradação não evolui isoladamente, dando origem ao longo do tempo a novos tipos de degradações (Branco et al., 2008).

A *identificação das degradações* observáveis na superfície dos pavimentos, permite determinar as causas que estão na origem do seu aparecimento e associar a sua existência à influência que terão sobre outros parâmetros de avaliação (Branco et al., 2008).

Na Figura 10, pode-se observar a ***influência das características superficiais dos pavimentos*** na segurança e comodidade dos utentes, bem como no meio ambiente e na economia de circulação e exploração.

| | | Exigências | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Factores de Influência | | Segurança | Comodidade | Ambiente | Economia |
| Aderência | | ■ | □ | □ | □ |
| Regularidade | Longitudinal | ⬒ | ■ | □ | ◪ |
| | Transversal | ◩ | ◪ | □ | □ |
| Resistência ao rolamento | | □ | □ | □ | ◪ |
| Ruído de contacto pneu/pavimento | | □ | ◩ | ■ | □ |
| Características reflectoras | | ⬒ | ⬒ | □ | ⬒ |

Legenda:

■ Grande influência ⬒ Influência moderada □ Influência nula

◩ Influência marcante ◪ Influência pequena

Figura 10. Influência das principais características superficiais dos pavimentos nas exigências dos mesmos (Adaptado: OCDE et al., 1984).

Ao analisar a figura anterior podem tirar-se várias conclusões. A nível de segurança, a *aderência* dos veículos ao pavimento é muito importante, principalmente quando chove, e quando a mesma é diminuta podem ocorrer dois fenómenos: a hidroplanagem e a viscoplanagem. Assim, a rápida eliminação da água torna-se fundamental na segurança e na integridade estrutural do pavimento.

A aderência baseia-se no índice IFI (*Internationla Friction Index*), calculado com os resultados do SCRIM (*Sideways-force Coefficient Routine Investigation Machine*) ou um equipamento semelhante, e da textura superficial, funcionando apenas como um indicador de aderência. Uma boa aderência conduz ao aumento da segurança e consequente diminuição de acidentes (Picado-Santos et al., 2006).

A comodidade dos condutores só se consegue se as *irregularidades longitudinais e transversais* forem nulas. A irregularidade de um pavimento prejudica essencialmente o conforto dos condutores e indirectamente a segurança e economia, no que diz respeito a um aumento de consumo de combustível e ao desgaste dos próprios veículos (PIARC, 2009).

O *ruído*, actualmente é um factor com bastante influência, tanto para os condutores como para os habitantes das zonas limítrofes das estradas. O ruído é bastante incómodo, podendo mesmos influenciar os níveis de cansaço dos condutores e em casos extremos originar transtornos mentais (PIARC, 2009).

A segurança também deriva de uma boa visibilidade, da qualidade das *características reflectoras* existentes no pavimento, quer em dias de chuva ou nevoeiro, em dias de sol, de noite e de dia, a estrada deve ser sempre perceptível de modo a evitar acidentes (PIARC, 2009).

A condução nocturna é mais perigosa devido ao facto de o nosso campo de visão ser mais diminuto. No entanto, se existir iluminação artificial essa dificuldade não é tão evidente. Existe ainda sinalização horizontal e esta ao contrastar com a cor do pavimento, ajuda os condutores, a seguirem as trajectórias correctas e a advertirem para a existência de eventuais obstáculos.

### 4.2.1. Parâmetros de Estado na Avaliação da Qualidade dos pavimentos

A avaliação do estado funcional de um pavimento tem por objectivo definir se este apresenta um nível de serviço adequado às exigências dos utentes, permitindo que a circulação se faça em condições de segurança, conforto, economia e qualidade ambiental.

Para uma completa avaliação do estado dos pavimentos devem ser adoptados diferentes parâmetros tais como: a qualidade estrutural, a qualidade funcional a nível da camada de desgaste, atrito transversal, ruído exterior e interior, visibilidade e vibrações, regularidade transversal e longitudinal (Azevedo, 2001).

#### 4.2.1.1. Estado Superficial

Em todos os métodos de avaliação da qualidade de um pavimento, as degradações observáveis à superfície, constituem o parâmetro predominante em todo o processo de análise (Branco et al., 2008).

Os sistemas mais completos compreendem um Catálogo de Degradações, permitindo uma correcta identificação das degradações existentes, de modo a se conseguir fazer uma análise dos dados obtidos através de levantamentos realizados com base em observações visuais.

A avaliação de cada tipo de degradação deve considerar a respectiva extensão e o nível de gravidade.

Por isso, na avaliação das degradações superficiais dos pavimentos, considera-se o fendilhamento como o objecto principal, em diferentes estados de desenvolvimento (Branco et al., 2008).

O movimento de materiais, designado por "subida de finos" está associado à existência de fendilhamento. A exsudação interfere com o coeficiente de atrito.

A desagregação da camada de desgaste contribui para o aumento de desgaste dos pneus, bem como para o aumento de ruído de circulação (Branco et al., 2008).

A ocorrência de fendilhamento nas camadas betuminosas proporciona a entrada de água para as camadas subjacentes, contribuindo assim para a perda da capacidade de suporte e acelerar o surgimento de deformações permanentes (Azevedo, 2001).

#### 4.2.1.2. Capacidade Estrutural

A capacidade estrutural é avaliada a partir da deflexão ou assentamentos visíveis após o carregamento do pavimento.

A auscultação dos pavimentos é essencial para qualquer avaliação do estado estrutural de um pavimento. A informação obtida, nomeadamente as deflexões, são fundamentais para obter o modelo de comportamento estrutural do pavimento, pois permitem caracterizar mecanicamente os materiais das diferentes camadas do pavimento e da fundação, essencialmente os módulos de deformabilidade (Trindade et al., 2009).

Os resultados dos ensaios de carga, correspondentes aos resultados dos valores de deflexão, permitem determinar a capacidade estrutural do conjunto do pavimento e da fundação, ao mesmo tempo que permitem avaliar a contribuição de cada camada para o comportamento estrutural tendo em conta as deflexões medidas (Trindade et al., 2009).

Este tipo de ensaios têm um custo elevado, no entanto são aqueles que melhor avaliam o comportamento dos pavimentos ao longo do seu período de vida. Para avaliar a capacidade estrutural existem dois métodos, os destrutivos ou os não-destrutivos, no entanto os mais utilizados são os métodos não-destrutivos visto serem os que menos perturbam a circulação dos veículos, contribuindo também para a ausência de destruições e contaminações das misturas betuminosas (EP, 2007).

Recorrendo ao método não-destrutivo, a deflexão de um pavimento pode ser obtida através de vários equipamentos, de seguida são exemplificados alguns equipamentos de medição da deflexão:

- A ***Viga de Benkelman*** que é um equipamento que mede a deflexões pontuais num determinado pavimento, através da aplicação de uma carga que varia consoante o tipo de pavimento e do tráfego;
- O ***Defletógrafo de Lacroix*** que é um equipamento móvel que utiliza duas vigas montadas em paralelo, uma em cada rodado, possibilitando a medição das deflexões nas duas rodeiras de uma mesma via;
- O ***Defletógrafo de Impacto*** que é um equipamento que permite medir a resposta do pavimento, quando solicitado por uma carga vertical dinâmica de impacto com um determinado tempo de duração que ronda as milésimas de segundos, aproximando-se muito do efeito introduzido pelo tráfego a velocidades na ordem dos 60 a 80 km/h (Picado-Santos et al., 2006).

*"Alguns sistemas de gestão não consideram a deflexão como um parâmetro de estado para a avaliação da qualidade estrutural dos pavimentos, ao nível de rede, utilizando-a apenas a nível de projecto"* (Branco et al., 2008).

#### 4.2.1.3. Textura Superficial

A textura da superfície da camada de desgaste de um pavimento representa um papel essencial para a sua *qualidade funcional*, principalmente no que está relacionado com os seguintes aspectos:

- "*Desenvolvimento das forças de atrito no contacto pneu/pavimento em condições desfavoráveis, piso húmido ou molhado;*
- *Consumo de combustível;*
- *Desgaste dos pneus por micro-deslizamento da borracha no contacto pneu/pavimento;*
- *Ruído de baixa frequência, no interior e exterior dos veículos;*
- *Vibrações transmitidas ao volante e ao interior dos veículos"* (Branco et al., 2008).

A textura tem, desta forma, influência no que respeita à segurança, custo de operação dos veículos, ao conforto e ao ambiente.

A textura de um pavimento é determinada pelas suas irregularidades superficiais, que vão desde as microtexturas, macrotexturas e as megatexturas, em função do comprimento de onda, medido em milímetros e das irregularidades ou ondulações de um perfil da camada de desgaste.

Na Figura 11, são apresentados os diferentes domínios da textura, em função do seu comprimento de onda.

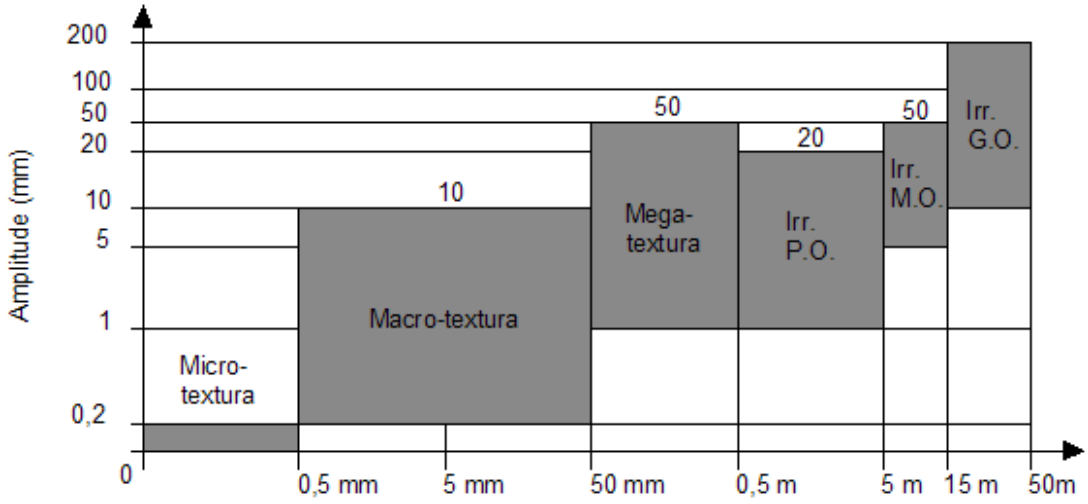



Figura 11. As irregularidades da superfície de um pavimento (Fonte: AIPCR et al., 2003).

## 1. Microtextura

A microtextura pertence ao domínio de comprimento de onda compreendido entre 1µm e 0,5mm, com uma amplitude entre 1µm e 0,2mm, podendo ser estimada indirectamente através da medição do coeficiente de atrito. Esta escala de textura possibilita considerar uma superfície mais ou menos rugosa, permitindo o contacto directo entre pneu e o pavimento (Branco e tal., 2008).

A microtextura é função das propriedades das partículas dos agregados e é principalmente significativa a baixas velocidades (Chelliah et al., 2003).

## 2. Macrotextura

A macrotextura de uma camada de desgaste equivale ao intervalo do comprimento de onda compreendido entre 0,5 e 50mm, com uma amplitude entre 0,1 e 20mm, resultante da dimensão maior das partículas dos agregados da mistura (Branco et al., 2008).

A macrotextura poderá ser determinada através do método volumétrico da "*Mancha de Areia"*, de acordo com a ISO 10844:1944, ou por um método perfilométrico sem contacto, relacionando-se com os comprimentos de onda da mesma ordem de grandeza do relevo da superfície dos agregados e dos pneus dos veículos (EP, 2010).

A macrotextura contribui para a componente de atrito entre pavimento/pneu e ajuda no rápido escoamento da água do pavimento, reduzindo assim o efeito da hidroplanagem (EP, 2010).

### a) Ensaio da Mancha de Areia

O ensaio da mancha de areia é utilizado para a determinação da profundidade média da textura da superfície da camada de desgaste. A macrotextura é determinada através dos desvios entre a superfície de um pavimento e uma superfície plana de um pavimento.

O ensaio consiste no espalhamento de um volume conhecido de material (areia fina ou esferas de vidro) sobre a superfície do pavimento a ensaiar, em forma circular. A profundidade média das depressões da superfície da camada de desgaste é determinada conhecendo o diâmetro do círculo obtido, como exemplifica a Figura 12.

Este ensaio é feito segundo a norma europeia EN 13036-1:2001, sendo uma versão actualizada do ensaio conhecido como "mancha de areia", recorrendo à utilização de pequenas esferas de vidro de dimensões normalizadas, anteriormente realizado com areia de granulometria obtida por passagens em peneiros normalizados, proporcionando desta forma um resultado mais fidedigno.

O ensaio da Mancha de Areia não fornece uma indicação directa do atrito pneu/pavimento, no entanto constituiu um bom indicador do seu valor potencial, dado que constitui uma medida directa da macrotextura da superfície da camada de desgaste do pavimento.

De acordo com a ISO 13473-1 e com o Caderno de Encargos das Estradas de Portugal, os resultados obtidos na caracterização final do pavimento deverão satisfazer os valores mínimos representados na Figura 13.

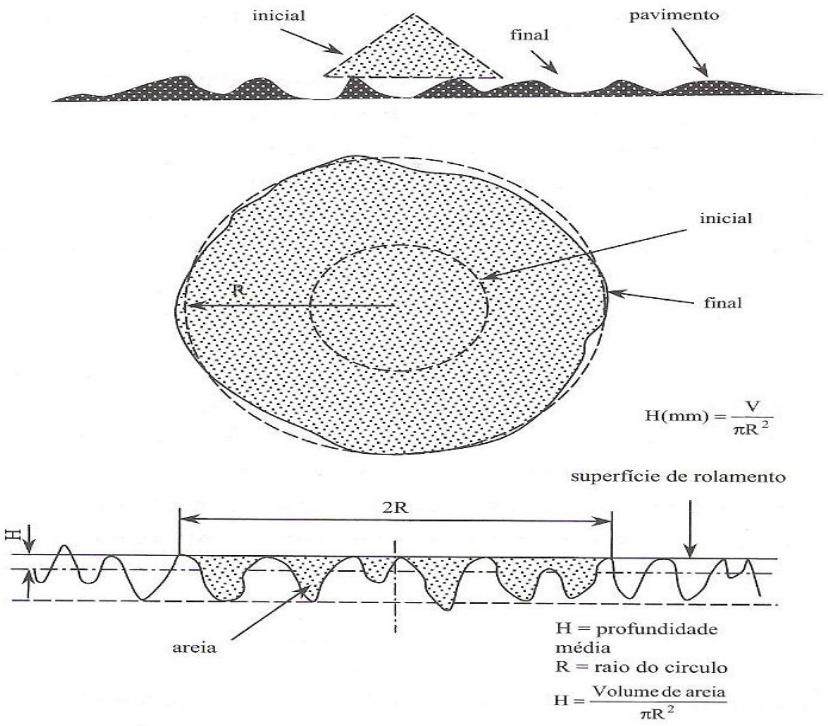



Figura 12. Ensaio da Mancha de Areia (Fonte: Branco et al., 2006).

| Requisitos/Propriedades | Unidade | Utilização | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AC10 surf (mBBr) | AC14surf (BBr) | AC14surf (BB) | PA12,5 (BBd) | MBR-BBA MBR-BBM | MBA-BBA MBA-BBM |
| Especificidades de utilização | | Determinação da profundidade de textura pelo método volumétrico da mancha (MTD) | | | | | |
| MTD - profundidade média de textura | mm | ≥ 1,0 | ≥ 1,0 | ≥ 0,7 | ≥ 1,2 | ≥ 1,0 | ≥ 1,1 |

Figura 13. Valores mínimos da macrotextura superficial a obter em fase de obra com o método volumétrico da mancha em camadas de desgaste (Fonte: EP, 2010).

3. **Megatextura**

   A megatextura da camada de desgaste de um pavimento pertence ao intervalo de comprimento de onda compreendido entre 50 e 500mm, com uma amplitude vertical compreendida entre 0,1 e 50mm (Branco et al., 2008).

   Na generalidade, a megatextura é a consequência das deformações e degradações de comprimento reduzido da superfície da camada de desgaste (ninhos, deformações localizadas), estando abrangida entre a macrotextura e os defeitos de regularidades.

#### 4.2.1.4. Irregularidade Longitudinal e Transversal

A irregularidade do perfil longitudinal pode ser devida a desnivelamentos da superfície do pavimento em relação ao seu perfil longitudinal ou a defeitos da superfície do pavimento, afectando assim o conforto, a segurança e os custos de circulação dos veículos.

A irregularidade do perfil transversal é uma característica importante a avaliar, visto ser fundamental para o desempenho da estrada. Este parâmetro é geralmente, um bom indicador da degradação superficial do pavimento, nomeadamente quando se verifica a existência de rodeiras. O principal objectivo para avaliar esta característica consiste em determinar a profundidade máxima das rodeiras, a partir da análise do perfil transversal (EP, 2007).

De acordo com o Caderno de Encargos das Estradas de Portugal, a regularidade da camada deverá ser avaliada em pontos distanciados de 25m por meio da utilização de uma régua fixa (regularidade transversal) ou móvel (para a regularidade longitudinal) com 3m de comprimento.

Os critérios de regularidade para as camadas em misturas betuminosas quando não se procede à determinação do IRI, está referenciado na Figura 14.

| Requisitos/Propriedades | Unidade | Utilização | |
|---|---|---|---|
| | | Camada de desgaste | 1ª camada e seguintes subjacentes à camada de desgaste |
| Especificidades de utilização | | Avaliação da irregularidade por meio de régua de 3 metros com um espaçamento de 25 m | |
| Irregularidades máximas | mm | ≤ 4 | ≤ 8 |

Figura 14. Critérios de regularidade para camadas em misturas betuminosas quando não se procede à determinação do IRI (Fonte: EP, 2010).

#### 4.2.1.5. Coeficiente de Atrito

O atrito entre os pneus e a superfície do pavimento representa um parâmetro muito importante, uma vez que está associado, fundamentalmente, à segurança de circulação dos veículos.

A mobilização de atrito e consequente resistência à derrapagem na camada superficial de um pavimento pode ser influenciada por factores tais como: o polimento ou desgaste dos agregados, provocada pela passagem dos veículos, a exsudação, o aparecimento de descontinuidades devidas ao aparecimento de fendilhamento, a existência de rodeiras que podem provocar a acumulação de água e a ocorrência do fenómeno de hidroplanagem, a redução da porosidade devido à densidade da camada de desgaste, redução da macrotextura, bem como a poluição devido ao derrame de combustíveis que afectam os materiais da camada de desgaste (Azevedo, 2001).

A medição do atrito pontual pode ser realizada utilizando vários métodos e tipos de equipamentos.

O atrito transversal é de maior importância para os pavimentos rodoviários, sendo medido com equipamentos que utilizam pneu fazendo um certo ângulo com a direcção do deslocamento do veículo de ensaio (EP, 2010).

Os equipamentos mais utilizados em Portugal na medição do atrito são o SCRIM (Side Force Coefficient Road Inventory Machine) e o Grip – Tester, estes equipamentos medem a resistência à derrapagem em piso molhado.

Um dos primeiros ensaios destinados a avaliar, ainda que indirectamente o atrito pneu/pavimento foi o método da "Mancha de Areia" que avalia a rugosidade geométrica do pavimento, referenciado anteriormente, no entanto o método mais utilizado é o método do *" Pêndulo Britânico"* e interessa a estudos de pontos localizados do pavimento, ou ainda a estudos de agregados em laboratórios (EP, 2010).

**a) Ensaio do Pêndulo Britânico**

O Pêndulo Britânico é um equipamento portátil para avaliar as características de aderência (microtextura) de um pavimento. Trata-se de um ensaio do "tipo pendular", permitindo a medição localizada, do coeficiente de atrito, através da avaliação da energia absorvida por atrito, quando uma superfície de borracha do pêndulo desliza sobre o pavimento, ou sobre uma amostra de material a ensaiar.

As características do pêndulo permitem que este simule o desempenho de um veículo a travar numa superfície molhada, mas a uma velocidade de 50km/h.

A grandeza obtida com este ensaio é o valor PTV (Pendulum Test Value), representando indirectamente o atrito longitudinal que se obteria entre o pneu e o pavimento.

De acordo com a (EN 13036-4) e com o Caderno de Encargos das Estradas de Portugal os resultados obtidos para efeitos de caracterização final do pavimento, deverão satisfazer os valores mínimos indicados na Figura 15.

| Requisitos/Propriedades | Unidade | Utilização |
|---|---|---|
| Especificidades de utilização | | Ensaio com o pêndulo britânico; Deslizador grande com borracha CEN; Escala C |
| Coeficiente de atrito pontual (Pendulum Test Value) | PTV | ≥ 60 |

Figura 15. Valores do Coeficiente de atrito Pontual (Pendulum Test Value) (Fonte: EP, 2010).

#### 4.2.1.6. Drenabilidade

Uma superfície com fracas características de drenagem contribui para a ocorrência de acidentes resultantes do fenómeno de hidroplanagem, perda de visibilidade, reduzindo assim de uma forma bastante significativa a segurança dos utentes.

No entanto, também é importante garantir que a drenagem das camadas subjacentes seja adequada, já que a acumulação de água a longo prazo no interior do pavimento reduz a capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, promovendo ainda o aparecimento de finos à superfície do pavimento e consequente deterioração rápida do pavimento (Freitas et al., 2001).

#### 4.2.1.7. Ruído

Os mecanismos de geração de ruído são influenciados pelo comportamento dos condutores, através do controlo da velocidade e da pressão dos pneus, pelas características dos mesmos, pelas características da superfície do pavimento (macrotextura, irregularidade, porosidade, desgaste e presença de água) e pelo clima (temperatura e vento).

As consequências da exposição ao ruído são notórias ao nível da saúde e qualidade de vida da população, como por exemplo, perturbações no sono e desempenho intelectual.

A construção de pavimentos com camadas de desgaste porosas, tem como principais objectivos a redução do ruído entre o pneu e o pavimento, permitindo em simultâneo, aumentar as condições de visibilidade na presença de precipitação, aumentar o atrito e reduzir o ruído de circulação do tráfego (Freitas et al., 2001).

### 4.2.2. Técnicas de Observação Superficial de Pavimentos Rodoviários

As características superficiais podem ser analisadas através da *observação visual*, elaborando um registo do estado de conservação, para posterior tratamento. Podem ainda ser analisadas com equipamento fotográfico e de vídeo. Existem também equipamentos específicos de observação, que ajudam na detecção das degradações, sobretudo na detecção do fendilhamento.

A Figura 16 mostra um exemplo de um dos equipamentos específicos de observação, o GERPHO, que é um equipamento constituído por um veículo do tipo comercial munido de uma câmara fotográfica de 35mm (0,5mm de resolução), de saída contínua, apoiada em suporte mecânico de modo a permitir fotografar o pavimento na vertical (EP, 2010).

A análise do filme é realizada numa consola com visor de apresentação de dois filmes ao mesmo tempo, aparecendo a imagem do pavimento no ecrã.

A identificação das degradações é efectuada recorrendo a um catálogo de degradações, que se identificará posteriormente, à semelhança da observação visual *in situ*. Contudo este método não permite detectar observações importantes como as rodeiras e o micro-fendilhamento (Branco et al., 2008).

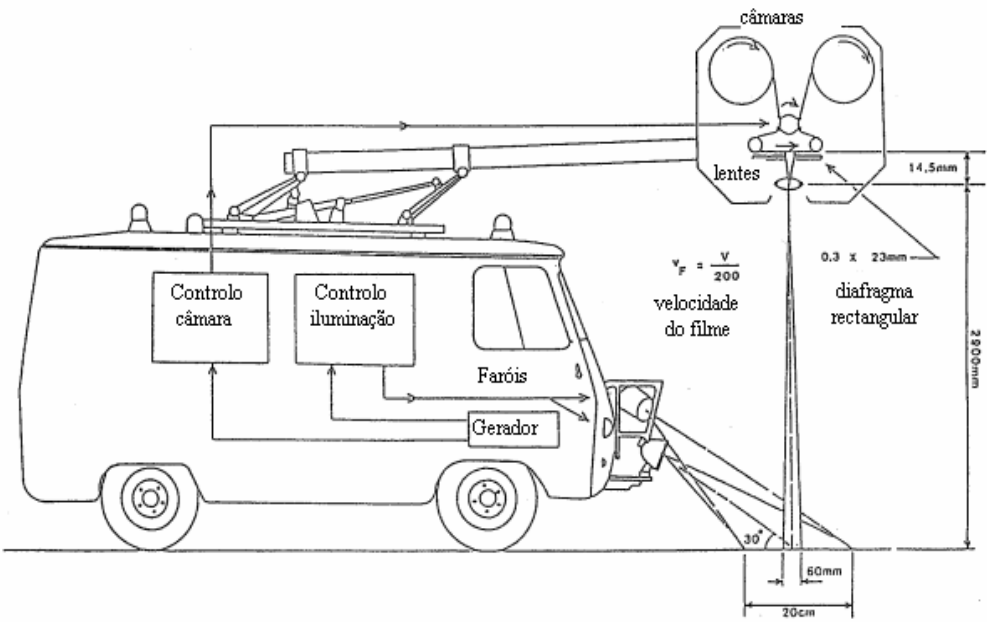



Figura 16. Esquema do equipamento GERPHO (Adaptado: SACR, 2007)

A tendência actual é deste tipo de equipamento ser substituído por outros equipamentos, nomeadamente com o registo a vídeos da observação da superfície do pavimento, tendo

como principal vantagem a de ser possível observar as vezes que forem necessárias o mesmo local, sem ser necessário retornar ao local de ensaio.

Na *observação visual* há um operador que se desloca ao longo da estrada, a pé ou a bordo de um veículo, registando os diferentes tipos de degradações, segundo a respectiva gravidade, em formulários específicos ou introduzindo em suporte informático o que vai observando, através de uma codificação previamente estabelecida (EP, 2010).

A Figura 17 mostra um exemplo de um dos equipamentos específicos de observação visual com apoio informático, o VIZIROAD, que é um sistema informático de aquisição de dados, que apoia a observação visual das degradações, dispondo de uma interface informática constituída por dois teclados complementares, onde cada tecla, através de configuração informática específica, pode ser associada a um determinado tipo e gravidade de degradação (EP, 2010).

Geralmente, a observação com este tipo de equipamento é efectuada a baixa velocidade, de modo a possibilitar a observação do pavimento pelo operador. A observação pelo operador consiste em indicar o tipo de patologia, nível de gravidade e a sua extensão, premindo as teclas correspondentes.

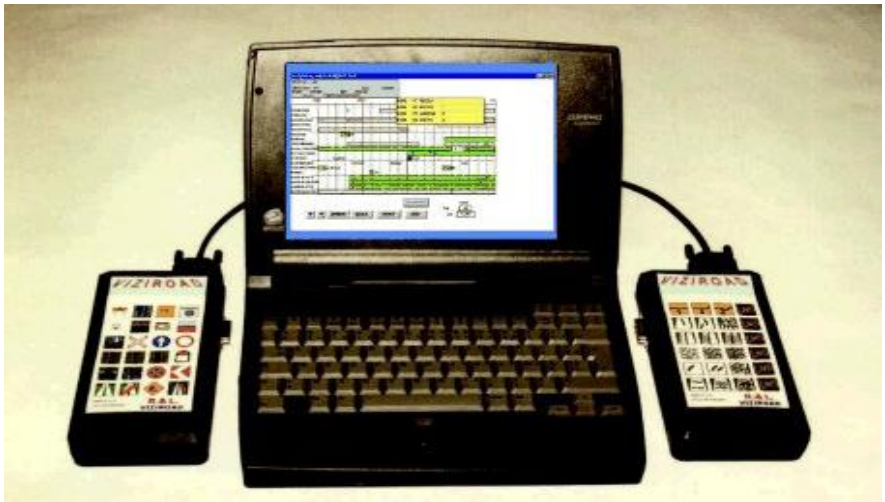



Figura 17. VIZIROAD (Fonte: EP, 2007).

Pelo facto de a observação visual se realizar através de um operador, existe sempre o problema da subjectividade da análise das degradações.

Esse mesmo operador pode mesmo qualificar a mesma degradação com resultados diferentes, devido a vários factores, tais como: a incidência da luz e/ou presença de água.

Essa análise varia ainda mais se for feita por mais do que um operador, no entanto limitar essa subjectividade de análise torna-se importante, na medida em que a análise e a avaliação das degradações deve ser a mais homogénea possível.

A recolha de dados realizada através da fotografia auxilia muito a análise desses mesmos dados, pois permite que os registos possam ser analisados com mais pormenor em gabinete. Os registos obtidos por vídeo são contínuos e permitem uma análise do pavimento e da sua envolvente, podendo assim observar-se com mais pormenores através da ampliação de certas imagens (EP, 2007).

Nos filmes obtidos pela gravação feita em vídeo, pode-se observar os vários tipos de degradação e todos os elementos adjacentes, tais como: sinalização vertical, sinalização horizontal, sistemas de drenagem, etc., esta obtenção deve-se ao facto destes veículos estarem munidos com quatro câmaras (EP, 2007).

Existe também uma ampla gama de equipamentos específicos para analisar as características superficiais, tais como: observação com recurso a sistemas holográficos (com raio laser, que detecta as fissuras), sistema de infra-vermelhos que detectam pequenas variações de temperatura entre a superfície do pavimento e as fissuras existentes, o radar conhecido por GPR que funciona através de ondas electromagnéticas para as camadas do pavimento e o sistema acústico que funciona com base num princípio que a energia acústica, na forma de pequenos impulsos, é transmitida para o pavimento por emissores situados na superfície do pavimento (EP, 2007).

## 4.3. Sistema de Avaliação da Qualidade de Pavimentos Rodoviários

As entidades públicas ou privadas, responsáveis pela rede rodoviária deparam-se actualmente com critérios cada vez mais exigentes a nível de qualidade e segurança nas vias rodoviárias. Torna-se por isso cada vez mais importante prolongar essas características no maior tempo possível, reduzindo tanto quanto possível os custos para os utentes e para as entidades gestoras. Assim, desde a abertura do tráfego existe uma necessidade contínua de um acompanhamento do estado de degradação do pavimento rodoviário de forma a maximizar a sua qualidade global.

Para avaliar a qualidade dos pavimentos recorre-se a uma metodologia que avalia globalmente a qualidade do pavimento e que permite determinar um índice de Qualidade Global (IQ), independentemente do método utilizado no levantamento visual das degradações.

Este índice no caso dos pavimentos flexíveis que representam 99% da rede nacional, caracteriza o estado dos pavimentos para cada trecho de rede, em função das observações obtidas no levantamento visual a respeito das degradações superficiais (fendilhamento, covas, peladas, etc.), irregularidade longitudinal (traduzida pelo *IRI – International Roughness Índex*) e rodeiras (Picado-Santos et al., 2006).

O **Índice de Qualidade (IQ)** que se propõe para efectuar a avaliação da qualidade baseia-se no valor de PSI (Present Serviceability Index), desenvolvido com base no ensaio de AASHO e adoptado pelo sistema de gestão de pavimentos do Estado de Nevada (Picado-Santos et al., 2006).

Segundo esta metodologia, o **IQ** pode ser obtido através da equação (1).

$$\boldsymbol{IQ = 5 \times e^{-0{,}0002598 \times \frac{IRI}{2}} - 0{,}002139 \times R^2 - 0{,}03 \times (C + S + P)^{0{,}5}}$$

<u>*Onde:*</u>

***IRI*** – é a irregularidade Longitudinal do Pavimento (*International Roughness Índex*) (mm/Km);

***R*** – é a profundidade média das rodeiras (mm);

***C*** – é a área com fendilhamento e pele de crocodilo ($m^2/100m^2$);

***S*** – é a área com degradação superficial de materiais (covas e peladas) ($m^2/100m^2$);

***P*** – é a área com reparações ($m^2/100m^2$) (Picado-Santos et al., 2006).

O Índice de Qualidade **(*IQ*)** de acordo com a Figura 18 é um valor que pode variar no intervalo entre 0 (pavimento em muito mau estado) e 5 (pavimento em muito bom estado), adoptando-se o valor 2 como indicador da necessidade de intervenção, consistindo no limite entre o pavimento de mau estado e o de estado razoável (Picado-Santos et al., 2006).

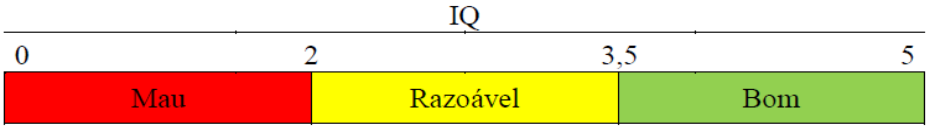



Figura 18. Indicação Qualitativa dos Intervalos do índice de Qualidade (Fonte: Picado-Santos et al., 2006).

Da *avaliação da qualidade* vai resultar o estado actual da rede e será possível definir as intervenções que têm de acontecer de imediato, para colocar os segmentos em estado de conservação muito degradado na condição de poderem ser geridos por um sistema de médio/longo prazo (Trindade et al., 2009).

Para o cálculo do Índice de Qualidade através da equação (1) é necessário estabelecer para cada área a extensão, o seu respectivo valor, o nível de gravidade de cada tipo de degradação, de acordo com a Tabela 9.

Os parâmetros de estado são identificados por níveis de gravidade, de forma a poderem ser observados e registados com um equipamento do tipo VIZIROAD, aos quais corresponde uma certa quantificação para que o parâmetro possa ser englobado no cálculo do Índice de Qualidade (*IQ*), com excepção da determinação da irregularidade longitudinal que deverá ser traduzida directamente pelo IRI (Picado-Santos et al., 2006).

Tabela 9. Degradações e Níveis de Gravidade para os Pavimentos Flexíveis (Fonte:Benta et al., 2008).

| Degradação | Níveis de Gravidade | Descrição do nível de Gravidade | Área afectada/ Valor adoptado |
|---|---|---|---|
| **1 Fendilhamento** | **Nível 1** | Fenda isolada | 0,5m × comprimento afectado |
| | **Nível 2** | Fenda Longitudinal grave ramificada com eventual perda de agregados (2mm <abertura <4mm) | 2,0m × comprimento afectado |
| | **Nível 3** | Fenda longitudinal grave ramificada ou em grelha ligeira com perda de material (abertura> 4mm) Fenda transversal de qualquer gravidade | Largura do trecho × comprimento afectado |
| **2 Fendilhamento do tipo Pele de Crocodilo** | **Nível 1** | Malha com fendilhamento de abertura de pequena dimensão e sem ascensão de finos (abertura <2mm e malha> 20cm) | Largura do trecho × comprimento afectado |
| | **Nível 2** | Malha com fendilhamento de abertura de qualquer dimensão e com perda de material (Fendas com a bertura <2mm e malha <20cm, ou fendas com abertura entre 2 e 4 mm para qualquer tipo de malha, ou fendas com abertura> 4mm e malha> 40cm) | Largura do trecho × comprimento afectado |
| | **Nível 3** | Malha com fendilhamneto de abertura de grande dimensão com perda de material e ascensão de finos (Fendas com abertura> 4mm e malha <40cm) | Largura do trecho × comprimento afectado |
| **3 Peladas, Desagregações superficiais, Exsudação do betume, Polimento dos agregados, Assentamentos localizados** | **Nível 1** | Anomalia com largura <30 cm | 0,5m × comprimento afectado |
| | **Nível 2** | 30cm <Anomalia com largura <100cm | 2,0m × comprimento afectado |
| | **Nível 3** | Anomalia com largura> 100cm ou várias anomalias de qualquer largura na secção transversal | Largura do trecho × comprimento afectado |
| **4 Covas (Ninhos)** | **Nível 1** | Profundidade Máxima da cavidade <2 cm | 0,5m × comprimento afectado |
| | **Nível 2** | 2 cm < Profundidade máxima da cavidade < 4 cm | 2,0m× comprimento afectado |
| | **Nível 3** | Profundidade Máxima da cavidade> 4 cm ou várias covas de qualquer largura na mesma secção transversal. | Largura do trecho × comprimento afectado |
| **5 Reparações** | **Nível 1** | Reparações bem executadas | (1/4) da largura do trecho x comprimento afectado |
| | **Nível 2** | Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas | (1/2) da largura do trecho x comprimento afectado |
| | **Nível 3** | Reparações mal executados | Largura do trecho × comprimento afectado |
| **6 Rodeiras** | **Nível 1** | Profundidade máxima da rodeira <10mm | 5 mm |
| | **Nível 2** | 10mm <Profundidade máxima da rodeira <30 mm | 20 mm |
| | **Nível 3** | Profundidade máxima da rodeira> 30 mm | 30 mm |
| **7 Irregularidade Longitunidal** | - | Valor do IRI | IRI (mm/Km) |
| **Aderência** | - | Valor do Scrim ou equivalente + mancha de areia | Coeficiente de atrito / IFI / Aa |

Quando não for possível avaliar directamente a *irregularidade longitudinal*, infere-se o valor do ***IRI*** através do princípio de que o valor deste índice depende das degradações, quantificando-se da forma indicada na Tabela 10, onde os níveis de gravidade para cada degradação considerada resultam da ponderação dos níveis de gravidade registados ao longo do trecho, ponderados em função das respectivas extensões de ocorrência (Trindade et al., 2009).

Tabela 10. Esquema de quantificação do IRI, na ausência de medição directa (Fonte: Picado-Santos et al., 2006).

| Degradação | Condição | Nível | IRI |
|---|---|---|---|
| **Fendilhamento pele de crocodilo** | < = | **1** | **Tipo 1**: IRI =1500mm/Km |
| e | | | |
| **Peladas, etc** | < = | **1** | |
| e | | | |
| **Rodeiras** | < = | **1** | |
| Todos os casos que não correspondem ao Tipo 1 ou ao Tipo 3 são considerados do tipo 2 | | | **Tipo 2:** IRI =2500mm/Km |
| **Fendilhamento pele de crocodilo** | = | **3** | **Tipo 3:** IRI =3500mm/Km |
| ou | | | |
| **Peladas, etc** | = | **3** | |
| e | | | |
| **Rodeiras** | > = | **2** | |

# 5. CASO DE ESTUDO

## 5.1. Identificação e descrição do caso de estudo

No âmbito desta dissertação, considerou-se apropriado efectuar uma análise prática de alguns conceitos abordados anteriormente.

O caso prático de estudo, que será descrito e analisado, refere-se à necessidade de beneficiação de uma estrada nacional do distrito de Coimbra, a EN 342-1, com um trecho total de 12,4 km.

A obra de beneficiação em questão surgiu como uma oportunidade de avaliar o estado funcional do pavimento utilizando o método visual da avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários flexíveis, descrito anteriormente.

O objectivo principal deste estudo é avaliar o seu estado actual, com a intenção de aumentar a sua capacidade funcional.

A caracterização do seu estado superficial teve por base um conjunto alargado de inspecções visuais *in situ* aplicando a metodologia de avaliação global da qualidade do pavimento, como referido anteriormente, e a qual permitiu a determinação de vários índices de qualidade, avaliados de km a km ao longo do trecho.

A avaliação da qualidade funcional de pavimentos rodoviários, serve para avaliar e qualificar o grau da funcionalidade do pavimento, logo, a avaliação da qualidade estrutural do pavimento não será uma prioridade no estudo deste caso, no entanto essa qualidade será avaliada indirectamente através dos parâmetros do estado superficiais, relacionados com a indicação qualitativa dos Índices de Qualidade calculados ao longo do trecho e que serão indicados no subcapítulo seguinte.

Não serão indicados mais elementos detalhados neste estudo prático porque teve de ser mantido o carácter de confidencialidade.

A estrada nacional analisada possui duas vias de circulação de 6m de largura, uma em cada sentido, com valetas revestidas em grande percentagem da sua extensão. É notória a inexistência de bermas ao longo do trecho, exceptuando as zonas das travessias urbanas.

O pavimento existente é constituído por camada de materiais granulares e revestimentos superficiais. Trata-se de um tipo de estrutura de pavimento comum nas estradas nacionais.

A última intervenção deste trecho foi realizada em 2003 com uma camada de desgaste de 5cm de Betão Betuminoso AC14 surf 50/70 com agregados de seixo britado.

A Figura 19 apresenta o pavimento tipo da referida estrada nacional.

Figura 19. Pavimento Tipo da EN 342-1

## 5.2. Caracterização do Estado Superficial do Pavimento

Na caracterização visual do estado de degradação do pavimento existente, foi aplicada a metodologia da avaliação da qualidade, com o objectivo de se obterem índices de qualidade, que como referido anteriormente, foram calculados Km a Km ao longo do trecho em estudo.

Não tendo sido possível avaliar directamente a irregularidade longitudinal, quantificou-se o valor do IRI de acordo com a Tabela 10 citada anteriormente, onde os níveis de gravidade para cada degradação considerada resultam da ponderação dos níveis de gravidade registados ao longo do trecho.

A aderência e o atrito foram também alvos de avaliação deste trecho, através dos ensaios fornecidos pelas Estradas de Portugal, o ensaio do Pêndulo Britânico e Mancha de Areia.

Com base na metodologia citada anteriormente, serão apresentados no subcapítulo seguinte os índices de qualidade efectuados ao longo do trecho.

### 5.2.1. Avaliação dos índices de Qualidade

Tabela 11. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 0+000 e 1+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0+000 a 1+000 | 1 | 1 | 280,4 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 99,7 | | |
| | 1 | 3 | 45 | | |
| | 2 | 1 | 15 | | |
| | 3 | 2 | 64,2 | Degradações | S |
| | 5 | 1 | 107 | Reparações | P |
| | 6 | 1 | 206 | Rodeiras | R |
| | 6 | 2 | 81 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 260,4+ 2 * 99,7 + 6*85+6 * 15) / (6 * 1000) 11,66 **11,66%**

**S =** (2 * 64,2)/(6 * 1000) 2,14 **2,14%**

**P=** ((1/4) * 6 * 107) 2,68 **2,68%**

**R=** (10*206+25*81)/1000 4,09 **4,09mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (((3*45)+2 * 99,7) + (1 * 855,3))/1000 | 1,19 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Rodeiras = | (2*81+1*919)/1000 | 1,081 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Peladas, etc = | ((2 * 64,2)+(1 * 935,8))/1000 | 1,00 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,96**

Tabela 12. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 1+000 e 2+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1+000 a 2+000 | 1 | 1 | 187,8 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 64,5 | | |
| | 1 | 3 | 90 | | |
| | 3 | 1 | 52 | Degradações | S |
| | 5 | 1 | 91 | Reparações | P |
| | 6 | 1 | 74 | Rodeiras | R |
| | 6 | 2 | 66 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 187,8 +2*64,5+ 6 *90) / (6 * 1000) 12,72 **12,72%**

**S =** (0,5*52)/(6 * 1000) 0,43 **0,43%**

**P=** (((1/4) * 6) * 60,5)/(6*1000) 2,28 **2,28%**

**R=** ((74*10)+(66*25)/(1000) 2,39 **2,4mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (3*90+2*64,5+1*845,5)/1000 | 1,2 | Tipo1 ≤1,25 |
| Rodeiras = | (2*66+1*934)/1000 | 1,066 | Tipo 1≤ 1,25 |
| Peladas, etc = | (1*27)/1000 | 0,03 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 2** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,98**

Tabela 13. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 2+000 e 3+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2+000 a 3+000 | 1 | 1 | 340 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 277,5 | | |
| | 1 | 3 | 181,5 | | |
| | 2 | 1 | 7,6 | | |
| | 2 | 2 | 6,7 | | |
| | 3 | 2 | 93,7 | Degradações | S |
| | 4 | 3 | 23,7 | | |
| | 5 | 1 | 95 | Reparações | P |
| | 6 | 2 | 198 | Rodeiras | R |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 340 + 2 * 277,5 + 6 * 181,5 + 6 * 7,6+ 6 * 6,7 ) 31,66 **31,66%**

**S =** (2* 93,7 + 6 * 23,7)/(6 *1000) 5,49 **5,49%**

**P=** ( (1/4)*6*95)/(6*1000) 2,38 **2,38%**

**R=** (25*198)/1000 4,95 **4,95mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (3*181,5+2*(6,7+277,5)+1*534,3)/1000 | 1,65 | Nível 2 ≥ 1,25 |
| Rodeiras = | (2*198+1*802)/1000 | 1,20 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Peladas, etc = | (3*23,7+2*93,7+1*882,6)/1000 | 1,14 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **2500**

**Cálculo IQ =** **3,37**

Tabela 14. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 3+000 e 4+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3+000 a 4+000 | 1 | 1 | 357,5 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 200 | | |
| | 3 | 2 | 77,3 | Degradações | S |
| | 4 | 1 | 145 | | |
| | 4 | 2 | 75 | | |
| | 6 | 1 | 388 | Rodeiras | R |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 357,5 + 2 * 200 ) / (6 * 1000) 9,65 **9,65%**

**S =** (2 *118,3+0,5*145+2*75)/(6 *1000) 6,29 **7,65%**

**P=** 0 **0%**

**R=** (10*388)/1000 3,88 **3,88mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (2*200+1*800)/1000 | 1,20 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Rodeiras = | (1*388)/1000 | 0,388 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Peladas , etc = | (2*152,3+1*847,7)/1000 | 1,15 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,96**

Tabela 15. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 4+000 e 5+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4+000 a 5+000 | 1 | 1 | 334,4 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 100,8 | | |
| | 1 | 3 | 75 | | |
| | 3 | 2 | 88,7 | Degradações | S |
| | 6 | 2 | 230 | Rodeiras | R |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** **(0,5 * 334,4 + 2 * 100,8+6*75 ) / (6 * 1000)** **13,65** **13,65%**

**S =** **(2*88,7)/(6*1000)** **0,03** **0%**

**P=** **0** **0%**

**R=** **(25*230)/1000** **5,75** **5,75mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

**Fendilhamento =** **(3*75+2*120,8+1*804,2)/1000** **1,23** **Nível 1 ≤ 1,25**

**Rodeiras =** **(2*230+1*770)/1000** **1,23** **Nível 1 ≤ 1,25**

**Peladas , etc =** **0** **Nível 1 ≤ 1,25**

**IRI = Tipo 1** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,93**

Tabela 16. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 5+000 e 6+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5+000 a 6+000 | 1 | 1 | 212,9 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 274,2 | | |
| | 2 | 1 | 17,9 | | |
| | 2 | 3 | 11,5 | | |
| | 3 | 2 | 39,5 | Degradações | S |
| | 5 | 2 | 24,3 | Reparações | P |
| | 6 | 1 | 315 | Rodeiras | R |
| | 6 | 2 | 195 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 212,9 + 2 * 274,2 + 6 * 17,9 + 6 * 11,5 ) / (6 * 13,85 **13,85%**

**S =** (2 * 39,5) / (6*1000) 1,32 **1,32%**

**P=** (((1/2) * 6) * 24,3) / (6 * 1000) 1,22 **1,22%**

**R=** (10*315+25*195)/1000 8,03 **8,03mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (3 * 11,5 + 2 * 274,2 + 1 * 714,3) / 1000 | 1,30 | Nível 2 ≥ 1,25 |
| Rodeiras = | (2*195+1*805)/1000 | 1,20 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Peladas , etc = | (2 * 39,5 + 1 * 998,4) / 1000 | 1,04 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **2500**

**Cálculo IQ =** **3,35**

Tabela 17. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 6+000 e 7+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6+000 a 7+000 | 1 | 1 | 218,2 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 197,9 | | |
| | 1 | 3 | 327,8 | | |
| | 2 | 1 | 12 | | |
| | 3 | 2 | 39,2 | Degradações | S |
| | 5 | 1 | 22 | Reparações | P |
| | 5 | 3 | 38 | | |
| | 6 | 1 | 80 | Rodeiras | R |
| | 6 | 2 | 123 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **C =** | **(0,5 * 218,2 + 2 * 197,9 + 6 * 327,8 + 6 * 12 ) / (6 *** | **42,40** | **42,40%** |
| **S =** | **(0,5* 39,2) / (6*1000)** | **0,33** | **0,33%** |
| **P=** | **((((1/4) * 6) * 22) + (6 * 38)) / (6 * 1000)** | **4,35** | **4,35%** |
| **R=** | **(10*80+25*123)/1000** | **3,88** | **3,88mm** |

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Fendilhamento =** | **(3 * 327,8 + 2 * 197,9 + 1 * 474,3) / 1000** | **1,85** | **Nível 2 ≥1,25** |
| **Rodeiras =** | **(2*123+1*877)/1000** | **1,12** | **Nível 1 ≤ 1,25** |
| **Peladas , etc =** | **(2*39,2+1*960,8) / 1000** | **1,04** | **Nível 1 ≤ 1,25** |

**IRI = Tipo 1** **2500**

**Cálculo IQ =** **3,38**

Tabela 18. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 7+000 e 8+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7+000 a 8+000 | 1 | 1 | 197,1 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 98 | | |
| | 1 | 3 | 65 | | |
| | 3 | 2 | 75,9 | Degradações | S |
| | 3 | 3 | 17,1 | | |
| | 5 | 1 | 30 | Reparações | P |
| | 6 | 2 | 26 | Rodeiras | R |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

| | | | |
|---|---|---|---|
| **C =** | **(0,5 * 197,1 + 2 * 98+6*65 ) / (6 * 1000)** | **11,41** | **11,41%** |
| **S =** | **(2* 75,9+6*17,1) / (6*1000)** | **4,24** | **4,24%** |
| **P=** | **(((1/4) * 6) * 30) ) / (6 * 1000)** | **0,75** | **0,75%** |
| **R=** | **(25*26)/1000** | **0,65** | **0,65mm** |

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Fendilhamento =** | **(3*65+2 * 98 + 1 * 837) / 1000** | **1,23** | **Nível 1 ≤ 1,25** |
| **Rodeiras =** | **(2*26+1*974)/1000** | **1,03** | **Nível 1 ≤ 1,25** |
| **Peladas , etc =** | **(3*17,1+2*75,9+1*907) / 1000** | **1,11** | **Nível 1 ≤ 1,25** |

**IRI = Tipo 1** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,99**

Tabela 19. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 8+000 e 9+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8+000 a 9+000 | 1 | 1 | 52,5 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 88,3 | | |
| | 1 | 3 | 80 | | |
| | 3 | 1 | 69,7 | Degradações | S |
| | 3 | 2 | 155 | | |
| | 5 | 1 | 52,5 | Reparações | P |
| | 5 | 2 | 15 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 52,5 + 2 * 88,3+6*80 ) / (6 * 1000) 11,38 **11,38%**

**S =** (0,5* 69,7 + 2 * 155) / (6*1000) 5,75 **5,75%**

**P=** (((1/4) * 6) * 52,5) + (0,5 * 6 * 15) ) / (6 * 1000) 2,06 **2,06%**

**R=** 0

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (3*80+2 * 88,3 + 1 * 831,7) / 1000 | 1,25 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Rodeiras = | | 0 | |
| Peladas , etc = | (2 * 155 + 1 * 845) / 1000 | 1,16 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **1500**

**Cálculo IQ =** **3,98**

Tabela 20. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 9+000 e 10+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 9+000 a 10+000 | 1 | 1 | 230,9 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 187 | | |
| | 1 | 3 | 163 | | |
| | 2 | 1 | 19,3 | | |
| | 2 | 2 | 8,8 | | |
| | 3 | 2 | 114 | Degradações | S |
| | 5 | 1 | 21,3 | Reparações | P |
| | 5 | 2 | 29 | | |
| | 6 | 1 | 90 | Rodeiras | R |
| | 6 | 2 | 240 | | |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 230,9 + 2 * 187 + 6 * 163 + 6 *19,3+6*8,8 ) / 27,27 **27,27%**

**S =** ( 2 * 114) / (6*1000) 3,80 **3,80%**

**P=** (((1/4) * 6) * 21,3) + (0,5 * 6 * 29) ) / (6 * 1000) 1,98 **1,98%**

**R=** (10*90+25*240)/1000 6,9 **6,9mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | ((3*163+2 *( 187+8,8))+ (1 * 641,2)) / 1000 | 1,52 | Nível 1 ≥ 1,25 |
| Rodeiras = | (2*240+1*760)/1000 | 1,27 | Nível 1 ≥ 1,25 |
| Peladas , etc = | (2 * 114 + 1 * 886) / 1000 | 1,11 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1 2500**

**Cálculo IQ = 3,34**

Tabela 21. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 10+000 e 11+000

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 10+000 a 11+000 | 1 | 1 | 18,3 | Fendilhamento | C |
| | 3 | 1 | 10 | Degradações | S |
| | 3 | 2 | 3 | | |
| | 5 | 1 | 77 | Reparações | P |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5 * 18,3 + 2 ) / (6 * 1000) 0,15 **0,15%**

**S =** ( 0,5 * 10 + 2 * 3) / (6*1000) 0,18 **0,18%**

**P=** (((1/4) * 6) * 77 ) / (6 * 1000) 1,93 **1,93%**

**R=** 0

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (1*18,3) / 1000 | 0,02 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Rodeiras = | | 0 | |
| Peladas , etc = | (2 * 3 + 1* 997) / 1000 | 1,00 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| | | IRI = Tipo 1 | 1500 |

**Cálculo IQ =** **4,07**

Tabela 22. Avaliação do Índice de Qualidade Global entre os km 11+000 e 12+400

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000 **Km Final:** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Obsservados | Tipo de Degradação | Níveis de Gravidade | Extensão da Degradação | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 11+000 a 12+400 | 1 | 1 | 485,5 | Fendilhamento | C |
| | 1 | 2 | 385 | | |
| | 1 | 3 | 265 | | |
| | 2 | 1 | 20 | | |
| | 3 | 2 | 85 | Degradações | S |
| | 5 | 2 | 30 | Reparações | P |
| | 6 | 2 | 85 | Rodeiras | R |

**IQ=5*e^(-0,0002598*IRI/2)-0,002139*R^2-0,03*(C+S+P)^0,5**

*LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DA REDE*

**C =** (0,5*485,5+2*385+6*265+6*20)/(6*1000) 45,38 **45,38%**

**S =** ( 2 * 85 ) / (6*1000) 2,83 **2,83%**

**P=** (((1/2) * 6) * 30 ) / (6 * 1000) 1,50 **1,50%**

**R=** (25*85)/1000 2,13 **2,13mm**

**IRI - Irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fendilhamento = | (3*265+2*385+1*350)/1000 | 1,92 | Nível 2 ≥ 1,25 |
| Rodeiras = | (2*85+1*915)/1000 | 1,09 | Nível 1 ≤ 1,25 |
| Peladas , etc = | (2 * 85+ 1* 915) / 1000 | 1,09 | Nível 1 ≤ 1,25 |

**IRI = Tipo 1** **2500**

**Cálculo IQ =** **3,39**

A Tabela 23 apresenta o resumo do resultado das deformações observáveis no trecho, de acordo com os cálculos apresentados nas tabelas anteriores.

Tabela 23. Tabela resumo das deformações observáveis no trecho

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000

**Km Final*:*** km 12+400

| Kms Observados | Valor do IQ | C (%) Fendilhamento Pele de Crocodilo | S (%) Degradação Sup. De Materiais | P (%) Reparações | R (mm) Rodeiras | IRI Irregularidade Longitudinal |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0+000 a 1+000 | 3,96 | 11,66 | 2,14 | 2,68 | 4,09 | 1500 |
| 1+000 a 2+000 | 3,98 | 12,72 | 0,43 | 2,28 | 2,39 | 1500 |
| 2+000 a 3+000 | 3,37 | 31,66 | 5,49 | 2,38 | 4,95 | 2500 |
| 3+000 a 4+000 | 3,96 | 9,65 | 6,29 | 0 | 3,88 | 1500 |
| 4+000 a 5+000 | 3,93 | 13,65 | 0,03 | 0 | 5,75 | 1500 |
| 5+000 a 6+000 | 3,35 | 13,85 | 1,32 | 1,22 | 8,03 | 2500 |
| 6+000 a 7+000 | 3,38 | 42,4 | 0,33 | 4,35 | 3,88 | 2500 |
| 7+000 a 8+000 | 3,99 | 11,41 | 4,24 | 0,75 | 0,65 | 1500 |
| 8+000 a 9+000 | 3,98 | 11,38 | 5,75 | 2,06 | 0 | 1500 |
| 9+000 a 10+000 | 3,34 | 27,27 | 3,8 | 1,98 | 6,9 | 2500 |
| 10+000 a 11+000 | 3,98 | 12,19 | 1,21 | 6 | 0 | 1500 |
| 11+000 a 12+400 | 3,39 | 45,38 | 2,83 | 1,5 | 2,13 | 2500 |

A tabela seguinte apresenta resumidamente os Índices de Qualidade calculados ao longo do trecho com a indicação qualitativa dos mesmos.

Tabela 24. Tabela Resumo dos índices de Qualidade com indicação qualitativa correspondente aos vários intervalos dos Índices de Qualidade calculados

**Levantamento das Condições da rede EN 342-1, Distrito de Coimbra**

***Largura média da Faixa:*** 6m

***Nº de vias*** = 2

***Km Inicial:*** km 0+000

**Km Final*:*** km 12+400

***Total de Kms Observados:*** 12,4 km

| Kms Observados | Valor do IQ | Indicação Qualitativa |
|---|---|---|
| 0+000 a 1+000 | 3,96 | BOM |
| 1+000 a 2+000 | 3,98 | BOM |
| 2+000 a 3+000 | 3,37 | RAZOÁVEL |
| 3+000 a 4+000 | 3,96 | BOM |
| 4+000 a 5+000 | 3,93 | BOM |
| 5+000 a 6+000 | 3,35 | RAZOÁVEL |
| 6+000 a 7+000 | 3,38 | RAZOÁVEL |
| 7+000 a 8+000 | 3,99 | BOM |
| 8+000 a 9+000 | 3,98 | BOM |
| 9+000 a 10+000 | 3,34 | RAZOÁVEL |
| 10+000 a 11+000 | 3,98 | BOM |
| 11+000 a 12+400 | 3,39 | RAZOÁVEL |

De acordo com a tabela resumo dos índices de qualidade exibida anteriormente concluiu-se que o trecho na sua maioria apresenta-se em bom estado de conservação, no entanto existem deformações no pavimento que deverão ser intervencionadas o quanto antes, de forma a garantir o seu estado funcional e prolongar a sua vida útil, proporcionando segurança, conforto e economia aos utentes da via.

### 5.2.2. Coeficiente de Atrito e Macrotextura Superficial

Como referido anteriormente, o atrito e a aderência foram também alvos de avaliação deste trecho, avaliados através dos ensaios fornecidos pelas Estradas de Portugal, do Pêndulo Britânico e Mancha de Areia realizados ao pavimento.

As Tabelas seguintes apresentam os resultados obtidos no ensaio do Pêndulo Britânico e no ensaio da Mancha de Areia.

Tabela 25. Ensaio do Pêndulo Britânico até ao km 8+030 (Dados fornecidos pelas Estradas de Portugal)

Ensaio do Pêndulo Britânico

Ano Pavimento: 2003
Tipo de Pavimento: Seixo Britado

| Km | Via | Média |
|---|---|---|
| 0+450 | Dir. | 55 |
| 1+050 | Esq. | 51 |
| 3+475 | Dir. | 59 |
| 3+550 | Esq. | 52 |
| 4+275 | Dir. | 51 |
| 4+350 | Dir. | 25 |
| 5+375 | Dir. | 57 |
| 5+425 | Esq. | 55 |
| 6+925 | Dir. | 44 |
| 7+185 | Dir. | 47 |
| 7+390 | Esq. | 53 |
| 7+640 | Esq. | 54 |
| 7+730 | Esq. | 48 |
| 7+900 | Esq. | 58 |
| 7+960 | Esq. | 54 |
| 8+030 | Esq. | 57 |

Tabela 26. Ensaio do Pêndulo Britânico até ao km 10+945 (Dados fornecidos pelas Estradas de Portugal)

Ensaio do Pêndulo Britânico

Ano Pavimento: 2003

Tipo de Pavimento: Seixo Britado

| Km | Via | Média |
|---|---|---|
| 8+150 | Esq. | 51 |
| 8+235 | Esq. | 56 |
| 8+290 | Esq. | 54 |
| 8+350 | Esq. | 50 |
| 8+410 | Esq. | 49 |
| 8+470 | Esq. | 46 |
| 8+535 | Esq. | 52 |
| 9+475 | Dir. | 49 |
| 9+500 | Esq. | 52 |
| 10+045 | Dir. | 51 |
| 10+070 | Dir. | 53 |
| 10+900 | Dir. | 49 |
| 10+900 | Esq. | 53 |
| 10+925 | Dir. | 60 |
| 10+925 | Esq. | 59 |
| 10+945 | Dir. | 59 |
| 10+945 | Esq. | 58 |

De acordo com os resultados apresentados anteriormente conclui-se que o coeficiente de atrito em grande parte do trecho em estudo apresenta valores inferiores ao valor mínimo de coeficiente de atrito pontual exigido e patenteado anteriormente na Figura 15, valor mínimo de ***0,60***.

Tabela 27. Ensaio da Mancha de Areia (Dados fornecidos pelas Estradas de Portugal)

| Ensaio da Mancha de Areia | | |
|---|---|---|
| Ano do Pavimento: 2003 | | |
| **Km** | **Via** | **Textura HS Média** |
| 0+450 | Dir. | **0,55** |
| 1+050 | Esq. | **0,55** |
| 3+475 | Dir. | **0,70** |
| 3+550 | Esq. | **0,60** |
| 4+275 | Dir. | **0,55** |
| 4+350 | Dir. | **0,40** |
| 5+375 | Dir. | **0,60** |
| 5+425 | Esq. | **0,60** |
| 6+925 | Dir. | **0,45** |
| 7+128 | Dir. | **0,75** |
| 7+390 | Esq. | **0,60** |
| 7+640 | Esq. | **0,60** |
| 7+730 | Esq. | **0,60** |
| 7+900 | Esq. | **0,60** |
| 7+960 | Esq. | **0,65** |
| 8+030 | Esq. | **0,55** |
| 8+150 | Esq. | **0,55** |
| 8+235 | Esq. | **0,60** |
| 8+290 | Esq. | **0,50** |
| 8+350 | Esq. | **0,45** |
| 8+410 | Esq. | **0,45** |
| 8+470 | Esq. | **0,55** |
| 8+535 | Esq. | **0,90** |
| 9+475 | Dir. | **0,65** |
| 9+500 | Esq. | **0,55** |
| 10+045 | Dir. | **0,55** |
| 10+070 | Dir. | **0,55** |
| 10+900 | Dir. | **0,70** |
| 10+900 | Esq. | **0,75** |
| 10+925 | Dir. | **0,90** |
| 10+925 | Esq. | **0,70** |
| 10+945 | Dir. | **0,55** |
| 10+945 | Esq. | **0,75** |

De acordo com os resultados apresentados anteriormente conclui-se que a profundidade média da textura superficial de algumas partes do trecho em estudo, apresenta valores inferiores ao valor mínimo exigido, referido anteriormente na Figura 12, e em conformidade com o tipo de pavimento existente do caso de estudo, Betão Betuminoso AC14surf, os valores mínimos admissíveis terão de ser superiores a ***0,70mm***.

## 5.3. Análise dos Resultados Obtidos e Medidas de Conservação e Reabilitação

Tendo em conta o descrito neste capítulo, bem como os resultados obtidos, tanto da avaliação do Índice de Qualidade do trecho em estudo, como dos ensaios realizados ao mesmo, conclui-se que o caso de estudo em causa necessita de uma intervenção tanto ao nível da qualidade superficial como também ao nível da qualidade estrutural do pavimento.

Apesar do bom estado geral de conservação do pavimento, no decorrer do levantamento da caracterização do seu estado superficial, foi identificada a necessidade de se fazer intervenções pontuais, de forma a prolongar a sua vida útil.

De acordo com a análise dos tipos de degradação e respectivos níveis de gravidade indicados nas tabelas anteriores e que conduziram a uma avaliação do Índice de Qualidade, verifica-se a existência de situações que necessitam de uma intervenção rápida, de forma a que as degradações já existentes não evoluam para degradações com níveis de gravidade superior.

O trecho apresenta pequenos assentamentos com alguma profundidade, infelizmente não foi conseguido apresentar com precisão através do levantamento fotográfico, alguns exemplos. No entanto os mesmos foram registados para o cálculo dos Índices de Qualidade.

A Figura 20 mostra um exemplo do tipo de assentamento pontual existente.

Figura 20. Assentamento pontual no pavimento com gravidade elevada

Alguns dos assentamentos e depressões pontuais com níveis de gravidade mais baixos, poderão ser colmatados através de uma regularização e/ou reperfilamento no pavimento, no entanto verificou-se também a existência de outros assentamentos com níveis de gravidade mais elevados, observando-se defeitos no pavimento indicadores de deficiência nas camadas inferiores e que deverão ser corrigidos recorrendo a saneamentos, no entanto gostaria de salientar que haverá necessidade de se verificar a drenagem existente por forma a evitar o surgimento da mesma deformação.

As rodeiras existentes em algumas partes do trecho eram na sua maioria imperceptíveis a olho nu, com reduzido nível de gravidade.

Ao nível das intervenções estruturais, existem também deformações visíveis no pavimento, tais como fendilhamento de gravidade elevada, mais propriamente a designada por "Pele de Crocodilo". O recurso a fresagens pontuais no pavimento, nestas situações, ou mesmo na existência de rodeiras com gravidade elevada, é usual e eficaz, e se após a primeira fresagem se verificar que a degradação é mais profunda dever-se-á executar uma segunda fresagem nas mesmas condições.

A Figura 21 mostra um dos exemplos de "Pele de Crocodilo" existente no trecho através do levantamento fotográfico efectuado.

Figura 21. Pele de Crocodilo com desagregação de material

Ao longo de todo o trecho verificou-se uma percentagem significativa da existência de fendilhamento, no entanto este tipo de fendilhamento refere-se somente a fendas isoladas ou fendas longitudinais ramificadas, que na maioria dos casos não apresentavam desagregação de materiais. A correcção destes defeitos pode ser tratada com técnicas de tratamento superficial, evitando que estas evoluam para um nível de gravidade superior, podendo-se desta forma prolongar a vida útil do pavimento.

A evolução destas fendas, no caso de não serem tratadas, pode originar o aumento das suas dimensões, pela formação de malhas com desagregação de material, originando fendilhamento do tipo pele de crocodilo, permitindo desta forma a infiltração de água, nas camadas inferiores, originando consequentemente outro tipo de deformações mais graves.

As Figura 22 e a Figura 23 mostram exemplos de fendas isoladas existentes no pavimento e de fendas ramificadas, no entanto no Capítulo 7 serão apresentados vários exemplos dos tipos de deformações existentes através do levantamento fotográfico realizado no local.

Figura 22. Fenda Isolada

Figura 23. Fenda Longitudinal Ramificada

Em situações pontuais verificou-se também a existência de reparações mal executadas ou com má elaboração das juntas, principalmente em zonas de travessias urbanas, as quais deveriam ser também alvo de intervenção a nível estrutural do pavimento.

A Figura 24 mostra um exemplo de uma reparação mal executada

Figura 24. Reparação mal executada

A Figura 25 mostra um exemplo de outra reparação, neste caso com má elaboração das juntas.

Figura 25. Reparação com má elaboração das juntas

Um dos problemas principais que também se confirmou no levantamento visual, em consonância com os resultados fornecidos dos ensaios realizados à textura superficial (macrotextura) e ao coeficiente de atrito do pavimento, está relacionado com o polimento que grande parte do trecho apresenta. Como demonstrado anteriormente, o mesmo exibe valores inferiores aos valores mínimos exigidos.

A Figura 26 monstra um exemplo do polimento existente no pavimento

Figura 26. Polimento existente no pavimento

Este tipo de degradação existente no pavimento poderá ser colmatada através da aplicação de uma das técnicas de tratamentos superficiais a frio, que permite rejuvenescer as características superficiais de um pavimento envelhecido e desgastado, assegurando uma elevada rugosidade e uma boa impermeabilização, garantindo o prolongamento da vida útil do pavimento a um custo reduzido comparativamente com as misturas betuminosas a quente.

O microaglomerado betuminoso a frio seria a meu ver uma boa opção para colmatar diversas deformações presentes no trecho em estudo, não esquecendo que ter-se-ia de realizar todas as intervenções estruturais necessárias ao pavimento antes da sua aplicação.

Como referido anteriormente, o microaglomerado betuminoso a frio, embora seja geralmente utilizado como um revestimento superficial, apresenta características de desgaste (densidade, rugosidade e impermeabilidade), a custo reduzido, com poupança de energia visto ser uma técnica realizada a frio, melhorando eficazmente as características superficiais do pavimento.

A aplicação deste tipo de revestimento é muito vantajosa, uma vez que apresenta espessuras reduzidas, permitindo assim, respeitar a cota das soleiras das travessias urbanas existentes e diminuir o ruído propagado pelo tráfego.

Este revestimento pode ser aplicado em camadas simples ou duplas, no entanto é mais vantajoso optar-se pela última quando se pretende aumentar a capacidade de suporte, a macrotextura e a impermeabilização e perante este caso de estudo e os ensaios realizados e respectivos resultados esta seria, na minha opinião, uma boa solução.

As principais vantagens na aplicação desta técnica são as seguintes:

- Proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém de alta resistência contra o desgaste;
- Impermeabilizar o pavimento;
- Proporcionar um revestimento anti-derrapante;
- Proporcionar um revestimento com grande flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infra-estrutura;
- Rejuvenescimento de pavimentos betuminosos envelhecidos;
- Aplicação rápida devido à inexistência de compactação e à sua reduzida espessura;
- Custos de aplicação mais reduzidos, visto ser uma técnica aplicada a frio, em relação às técnicas realizadas a quente.

Das conclusões e soluções que foram referidas ao longo deste caso prático, gostaria de salientar que é muito importante fazer-se um bom levantamento visual do estado de degradação dos pavimentos, pois tal permite de um modo relativamente simples avaliar as necessidades de intervenção, de forma a que as mesmas sejam rectificadas em tempo útil garantindo um melhoramento das características superficiais e estruturais de um pavimento.

### 5.3.1. Conclusões do Caso de Estudo

O estudo da EN 342-1 baseou-se na caracterização do estado superficial do pavimento, utilizando-se o método visual do estado de degradação do pavimento existente, aplicando a metodologia de avaliação global da qualidade, com o objectivo de se obterem Índices de Qualidade Globais ao longo do trecho.

Para colmatar estas situações é de salientar que um sistema de gestão de conservação é essencial, intervindo-se nas estradas atempadamente na resolução de pequenos problemas, afastando assim a necessidade de recorrer a intervenções mais profundas que originam indirectamente o aumento de custos.

Neste caso estudo foram abordadas as várias intervenções necessárias com o objectivo de promover uma melhoria das características do pavimento.

Foram abordadas as intervenções necessárias a nível estrutural do pavimento mas não de uma forma detalhada, pois o objectivo primordial deste relatório está essencialmente voltado para as características funcionais, mais propriamente, para diversas técnicas existentes de reabilitação das características superficiais dos pavimentos, no entanto quando se faz a caracterização do estado funcional de um pavimento com o objectivo da conservação ou reabilitação, ter-se-á de examinar tudo o que possa estar envolvido nessa avaliação.

Foi apresentado neste estudo prático uma solução, enumerando-se as diversas vantagens da utilização do tipo de tratamento superficial, o microaglomerado duplo, que de acordo com os estudos realizados ao seu estado superficial actual, bem como as condições de tráfego existentes e zonas urbanas que o trecho possui seria a melhor solução, de forma a restituir ao pavimento uma qualidade funcional superior à existente.

# 6. CONCLUSÃO

As estradas desempenham um papel fundamental no crescimento global de qualquer país. Uma rede viária bem estruturada permite a articulação rápida de pessoas e mercadorias. A articulação só se realiza eficazmente, quando as estradas oferecem aos utentes, conforto, segurança e economia, no entanto essas qualidades nem sempre estão patentes.

Os pavimentos logo após a sua construção começam a ser submetidos a acções diversas que conduzem a uma progressiva degradação da sua qualidade inicial. É assim fundamental estabelecer um programa dinâmico de acompanhamento da evolução de pavimentos, no sentido de apoiar a decisão de intervir em determinada altura, de modo a repor a qualidade dos mesmos.

As acções de conservação e reabilitação têm a finalidade de promover a preservação ou correcção das características funcionais e estruturais de um pavimento após a sua construção e entrada ao serviço.

As características funcionais estão relacionadas com as exigências dos utentes quanto ao conforto e segurança de circulação e referem-se essencialmente às características de regularidade longitudinal e transversal, ruído, textura, atrito e drenabilidade do pavimento, enquanto que as características estruturais estão relacionadas com a capacidade do pavimento para suportar as cargas dos veículos para que foi projectado, no entanto ambas as características estão relacionadas entre si.

Uma vez tomada a decisão de se intervir num pavimento, tem de se ter em linha de conta um determinado número de critérios que irão permitir a selecção das técnicas de conservação e reabilitação a adoptar, particularmente considerações de ordem técnica, factores económicos e ambientais.

A avaliação periódica das características superficiais e estruturais serve de apoio à tomada de decisão de quando e quanto se deve proceder à reabilitação de uma forma rentável.

Existem inúmeras técnicas de reabilitação e essas têm evoluído por forma a responder eficazmente aos problemas existentes no pavimento, atribuindo-lhe novas propriedades que possibilitam aumentar o seu período de vida.

# 7. LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO DO ESTADO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO

Figura 27. Pele de Crocodilo com desagregação de materiais

Figura 28. Polimento da camada de desgaste

Figura 29. Reparações mal executadas

Figura 30. Fenda Longitudinal ramificada

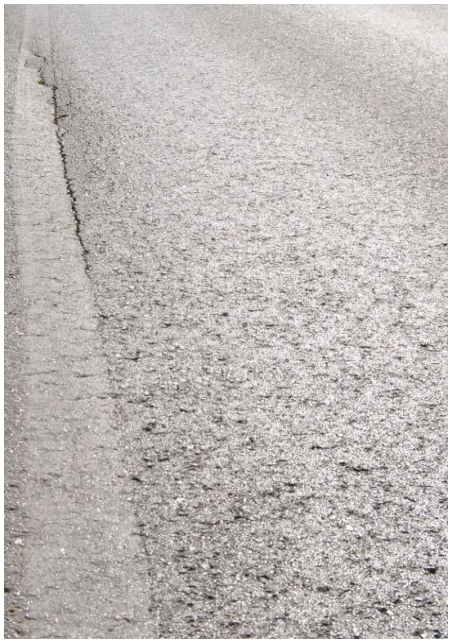


Figura 31. Assentamento localizado

Figura 32. Fenda Isolada com evolução para fenda ramificada

Figura 33. Fenda Isolada

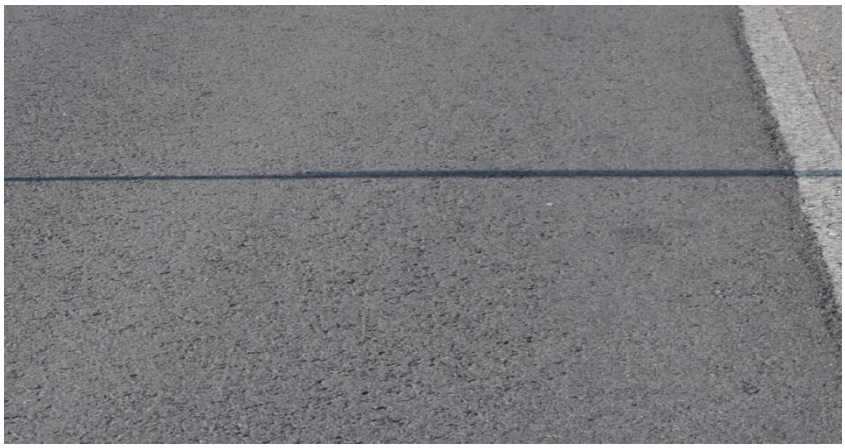


Figura 34. Reparação bem executada

# 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AIPCR and PIARC (2003). Evaluation of Investigations into the Applications of the IFI". Paris.

Antunes, M. d. L., F. Batista and S. Fontul (2005 ). Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Acção de formação LNEC.

Azevedo, M. d. C. M. (2001). Pavimentos
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Benta, A. A., L. P. Santos and J. M. Macedo (2008). Reabilitação de um Pavimento Flexível: Observação do Estado Superficial, Avaliação da Capacidade Estrutural e Soluções de Reforço. Aveiro.

Branco, F., P. Pereira and L. P. Santos, Eds. (2006). Pavimentos Rodoviários. Coimbra.

Branco, F., P. Pereira and L. P. Santos (2008). Pavimentos Rodoviários. Coimbra, Almedina.

CEPSA (2007). Manual de Pavimentação. Espanha.

Chelliah, T., P. Stephanos, T. Smith and B. Kochen (2003). "Developing a Design Policy to Improve Pavement Surface Characteristics." 2011.

Clérigo, V. M. d. S. (2006). Tratamentos Superficiais.

E.P. (1997). Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis. **2º**.

EP, IEP and JAE (1995). Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional.

EP, E. d. P. S. A. (2010). Caderno de Encargos

EP, S. A. (2007). Gestão da Conservação
Manual de Utilização da Aplicação.

Freitas, E. F. and P. A. A. Pereira (2011). Estudo da Evolução de Desempenho dos Pavimentos Rodoviários Fléxiveis. Engenharia Civil. Universidade do Minho. **11:** 58.

Intevial, G. I. R. S. A. (2009). "Aspectos Técnicos na Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários." 2010.

OCDE, O. d. C. e. d. D. Économiques and R. e. M. d. R. e. d. T. Routiers (1984). "Caractéristiques de Surface des Revêtements Routier: Leur Interaction et Leur Optimisation."

Pereira, P. and V. Miranda (1999). Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários. Braga, Universidade do Minho.

PIARC, W. R. A. (2009). "Long Life Pavements and Success Stories."

SACR (2007). "Reveles Visuels à Grand Rendement avec le Systeme GERPHO." 2011.

Picado-Santos, A. Ferreira and P. A. A. Pereira (2006). Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma rede Rodoviária de Carácter Nacional. Universidade do Minho.

Picado-Santos and P. Pereira (2002). Pavimentos Rodoviários. Braga, Barbosa&Xavier, Lda.

Técnhe (2006). "Selagem Asfáltica de Fissuras de Pavimentos." 110.

Trindade, M. and C. S. Horta (2009). Sistema de Gestão de Pavimentos da EP, S.A. A sua implementação e exploração como ferramenta de apoio à gestão.